

DIE EDV-GESTÜTZTE PROJEKTIERUNG IM FORSTWEGEBAU
- INFORMATIONSBASIS, PROGRAMMSTRUKTUR UND ANWENDUNG -

Hubert Dürrstein

Disbui. München

1987

DIE EDV-GESTÜTZTE PROJEKTIERUNG IM FORSTWEGEBAU

- INFORMATIONSBASIS, PROGRAMMSTRUKTUR UND ANWENDUNG -

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Forstwissenschaftlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt von

Hubert Dürrstein

Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und
Verfahrenstechnik der Universität München

Mai, 1987

1. Berichterstatter: Prof. Dr. H. Löffler
2. Berichterstatter: Prof. Dr. U. Ammer

Tag der mündlichen Prüfung: 6. Juli 1987

VORWORT

Die Verwendung der modernen Datenverarbeitung in der Forstwirtschaft bildet seit geraumer Zeit einen Schwerpunkt der Forschungsaktivitäten am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnik der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München. Im Rahmen dieser Arbeiten entstand in den Jahren 1983 bis 1987 die vorliegende Arbeit. Sie befaßt sich mit methodischen Ansätzen für die EDV-gestützte Detailprojektierung von Forstwegen.

Professor Dr. H. LÖFFLER erkannte frühzeitig die Notwendigkeit, die Möglichkeiten einer Prozessautomatisierung für Planungszwecke im Forstbetrieb zu untersuchen. Zwangsläufig ergab sich daraus die mir gestellte Aufgabe, zu prüfen, welche Lösungen sich speziell für die EDV-gestützte Wegeplanung anbieten. Mein besonderer Dank gilt Professor Dr. H. LÖFFLER. Ohne seine Förderung und seine sachkundige Kritik wären manche Überlegungen nur Stückwerk geblieben. Besonders hervorzuheben sind seine Bemühungen, mir Kontakte mit ausländischen Fachkollegen zu ermöglichen. So hatte ich Gelegenheit, mich in der Schweiz, in Kanada und in den USA über den Stand der Entwicklung zu informieren. In diesem Zusammenhang danke ich Professor Dr. V. KUONEN (Zürich, Schweiz), Professor Dr. G. YOUNG (Vancouver, Kanada) und Professor Dr. P. SCHIESS (Seattle, USA), die mir großzügig Einblick in ihre Arbeiten gewährten.

Die finanziellen Mittel für das Projekt stellte die Bayerische Staatsforstverwaltung zur Verfügung. Hierfür sei herzlich gedankt.

Die Oberforstdirektion München und das Bayerische Forstamt Schongau vermittelten das Wegeprojekt "Hollmaier Leite" und standen uns sowohl bei den Außenaufnahmen als auch bei den zum Teil zähen Diskussionen mit den bäuerlichen Waldbesitzern tatkräftig zur Seite.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Alle Institutskolleginnen und -kollegen zeigten eine große Hilfsbereitschaft. Besonders erwähnen möchte ich Herrn Ing. grad. R. Loibl, der mir bei den umfangreichen Programmierarbeiten immer wieder mit Rat und Tat zur Seite stand, und Frau I. Globisch, Frau S. Niederscheider und Frau A. Goudefroy, die das Schreiben des Manuskriptes übernahmen.

München, im April 1987

Hubert Dürrstein

INHALTSÜBERSICHT

	Seite
1 Einleitung	1
1.1 Hintergründe der Untersuchung	1
1.2 Zielsetzung und Methodik	3
2 Schaffung einer Informationsbasis	5
2.1 Grundsätzliche Überlegungen	5
2.2 Informationsbasis für Erschließungsplanung und Wegeprojektierung	6
2.3 Datenbanksysteme - Bedeutung und Grundkon- zeption	15
2.4 Die klassischen Datenmodelle	17
2.4.1 Gemeinsame Strukturmerkmale von Datenmodellen (das generelle Entity- Relationship-Modell)	18
2.4.2 Einfache graphenorientierte Modelle	20
2.4.3 Das Relationenmodell	23
2.5 Das konzeptionelle Schema einer Gelände- und Planungsdatenbank	26
2.5.1 Entwurfsstrategien	26
2.5.2 Die Ausscheidung von Objekt- und Assoziationstypen mit Attributen	29
2.6 Architektur einer Gelände- und Planungs- datenbank	37
2.6.1 Forderungen an Soft- und Hardware	37
2.6.2 Die Dateneingabe	43
2.6.3 Die Datenmanipulation	52
2.6.3.1 Die Zuordnungsregeln	54
2.6.3.2 Die Ableitungsregeln	63
2.6.3.3 Die Aggregation (Kombination)	72
2.6.4 Die Datenausgabe	73

2.7 Datenbank für das Untersuchungsgebiet	80
"Hollmaier Leite"	
2.7.1 Lage- und Besitzverhältnisse	81
2.7.2 Die Informationsbasis	82
3 Die klassische Wegeprojektierung	102
3.1 Intensitätsstufen bei der Projektausarbeitung	103
3.2 Das Vorgehen bei der Wegeprojektierung	105
3.3 Die Wegeprojektierung im Untersuchungsgebiet	110
"Hollmaier Leite"	
3.3.1 Die Geländearbeiten im Rahmen der	113
Detailprojektierung	
3.3.2 Die Projektausarbeitung im Büro	115
4 EDV-Programme für den Straßenbau	130
4.1 Forstspezifische EDV-Programme	130
4.1.1 Das FIDES-Programm "WALD"	131
4.1.2 Die EDV-Anwendung in Japan	137
4.1.3 Das BURKE-Programm	138
4.1.4 Optimierung der Gradientenfestlegung	141
4.1.5 Das Forest Level Road Design System (FLRDS)	145
4.1.6 Die lineare Optimierung für den Erdmassen-	147
ausgleich	
4.2 EDV-Programme für den klassischen Straßenbau	150
5 Der Programmentwurf für die EDV-gestützte Wegepro-	153
jektierung	
5.1 Anforderungen	153
5.2 Das Hauptmenue	155
5.3 Programm "WEGSTART" - Nulllinie	157
5.3.1 Nulllinienplanung	157
5.3.2 Weitere Optionen innerhalb des Programms	166
"NULLLINIE"	

5.4	Programm "WEGSTART" - Wegeachse	170
5.4.1	Planung der Wegeachse	172
5.4.2	Eingabe von Wegeachsensdaten	179
5.4.3	Hektometrieren	179
5.4.4	Plotten der Wegeachse	183
5.5	Programm "WEGSTART" - Geländelängenprofil	183
5.5.1	Algorithmus für die Berechnung der Straßenhöhen	185
5.5.2	Planungsablauf	188
5.6	Programm "WEGSTART" - Gradiente	192
5.6.1	Festlegung der Gradiente	194
5.6.2	Zeichnen der Gradiente	201
5.7	Programm "WEGSTART" - Querprofil	203
5.7.1	Berechnung der Querprofilpunkte	203
5.7.2	Aufbau der Querprofildatei	206
5.8	Programm "WEGSTART" - Erdmassenberechnung	220
5.8.1	Die Erdmassenberechnung	221
5.8.2	Der Erdmassenausgleich	224
5.9	Programm "WEGSTART" - Leistungsverzeichnis	228
6	Der Programmtest	234
6.1	Möglichkeiten der Programmanwendung	234
6.2	Auswahl des "optimalen Geländemodells"	236
6.3	Modifikationen innerhalb Programmsystems "WEGSTART"	248
6.3.1	Ermittlung der Geländehöhen aus "Querprofildaten"	250
6.3.1.1	Erfassung und rechnergestützte Ver- arbeitung der Geländedaten	251
6.3.1.2	Algorithmus für die Berechnung der Geländehöhen	252
6.3.1.3	Testlauf	260
6.3.2	Programmpaket für die Projektausarbeitung im Büro	262
6.3.3	Gegenüberstellung von EDV-gestützter und manueller Projektierung	264



6.4 Erfahrungen und Empfehlungen	270
6.4.1 Erfahrungen aus den verschiedenen Programm- tests	270
6.4.2 Empfehlungen für die Anwendung in der Praxis	271
7 Zusammenfassung	273
8 Literaturverzeichnis	277
9 Anlagen	285

ZUSAMMENSTELLUNG DER ABBILDUNGEN

	Seite
Abb. 1: Informationsbedarf für die Wegeplanung	7
Abb. 2: Drei-Schichten-Konzept als Datenbankarchitektur	19
Abb. 3: Objekttypen mit Attributen	19
Abb. 4: Objekttypen mit Assoziationstypen G.K.	19
Abb. 5: Ansatz für ein hierarchisches Modell einer Gelände- und Planungsdatenbank	21
Abb. 6: m:n - Assoziation mit Verkettungstyp Stichprobenpunkt "Geländeklasse"	23
Abb. 7: Spezialisierung/Generalisierung im Rahmen des Entwurfsprozesses (im Anhalt an REBSAMEN, 1983)	28
Abb. 8: Gerätekonfiguration für die EDV-gestützte Wegeplanung	40
Abb. 9: Display-Organisation für die Generierung von Bildschirm-Menues	41
Abb. 10: Datenbank-Hauptmenue	43
Abb. 11: Transformation von flächengleichen in rasterpunktbezogene Informationen	55
Abb. 12: Rasterausschnitt für das Digitale Geländemodell	69
Abb. 13: Digitales Geländemodell - Vorbereitung des Interpolationsalgorithmus (im Anhalt an BENNER et al., 1973)	70
Abb. 14: Konzeption der 3-dimensionalen Darstellung	78
Abb. 15: Topographische Karte	83
Abb. 16: Topographie - Luftbild	84
Abb. 17: Parzellierung	85
Abb. 18: Kardinalzonen	87
Abb. 19: Wegenetz	88
Abb. 20: Geländeklassifikation	90
Abb. 21: Nutzungsarten	91

Abb. 22:	Befahrbarkeitsklassen	93
Abb. 23:	Rückeentfernung	94
Abb. 24:	Datenbank-gestützte Herleitung der Rücke- entfernungen	95
Abb. 25:	Tragschichtdimensionierung	96
Abb. 26:	"Cost area"	97
Abb. 27:	Digitales Geländemodell	99
Abb. 28:	Raumwiderstand	100
Abb. 29:	Ablaufschema für die klassische Wege- projektierung	106
Abb. 30:	Zusammenwirken von Geländearbeit und Projekt- ausarbeitung	109
Abb. 31:	Topographie + Nulllinie	112
Abb. 32:	Topographie + Wegeachse	116
Abb. 33:	Ausgleich des Nulllinienpolygons	117
Abb. 34:	Ausschnitt aus dem Geländelängsprofil mit Gradienten und Schriftband	119
Abb. 35:	Regelquerschnitt	121
Abb. 36:	Querprofile für die Stationen 280 bis 336 ₅₆	122
Abb. 37:	Methoden für die Flächenermittlung bei der Erd- massenberechnung (nach OSTERLOH, 1985)	123
Abb. 38:	Transportentfernungen beim Massenausgleich	127
Abb. 39:	Senkrechte Verschiebung des Straßenkörpers zum Erlangen des Massenausgleichs (nach RAAFATNIA, 1978)	142
Abb. 40:	Ablaufschema für die EDV-gestützte Wege- projektierung	154
Abb. 41:	Hauptmenue für das Programmsystem "WEGSTART"	156
Abb. 42:	Ablaufschema für das Programm "NULLINIE"	158
Abb. 43:	Konzeption für die Nulllinienplanung	162
Abb. 44:	Bildschirmdarstellung der Nulllinie für die Teststrecke	163

Abb. 45:	Nulliniendateien	167
Abb. 46:	Hardcopy Kardinalzonen mit Nulllinie	169
Abb. 47:	Ablaufschema für das Programm "WEGEACHSE"	171
Abb. 48:	Nulllinie + Tangentenpolygon	173
Abb. 49:	Programmierte Kreisbogenabsteckung	175
Abb. 50:	Hardcopy Tangentenpolygon + Kurven- ausrundung	177
Abb. 51:	Schemaskizze zum Hektometrieren	180
Abb. 52:	Ablaufschema für das Programm "GELÄNDE- LÄNGENPROFIL"	184
Abb. 53:	Schemaskizze zur Ermittlung der Stationshöhen	187
Abb. 54:	Geländelängenprofil (verkleinert)	191
Abb. 55:	Ablaufschema für das Programm "GRADIEN TE"	195
Abb. 56:	Geländelängenprofil und Gradient e (verkleinert)	196
Abb. 57:	Ablaufschema für das Programm "QUERPROFIL"	204
Abb. 58:	Querprofiltypen und Bedingungen für deren Festlegung	208
Abb. 59:	Schema für die Berechnung der Schnittpunkte zwischen Gelände und Straßenkörper	209
Abb. 60:	Auswahlkriterien für einen Querprofiltyp bei Kurvenverbreiterung	214
Abb. 61:	Wechsel des Profiltyps auf Grund der Kurven- verbreiterung	215
Abb. 62:	Querprofile	217
Abb. 63:	Ablaufschema für das Programm "ERDMASSEN- BERECHNUNG"	221
Abb. 64:	Abgrenzung der Geländemodelle	238
Abb. 65:	Testvariante V1	240
Abb. 66:	Testvariante V2	241
Abb. 67:	Testvariante V3	242
Abb. 68:	Testvariante V4	243

Abb. 69:	Testvariante V5	244
Abb. 70:	Testvariante V6	245
Abb. 71:	Abweichung zwischen "realen" Gelände und Geländeverlauf auf der topographischen Karte	247
Abb. 72:	Ermittlung der kartesischen Koordinaten eines Nulllinienpunktes	255
Abb. 73:	Aufbau eines Rasters aus Geländedaten	257
Abb. 74:	Ermittlung der lokalen Koordinaten	259
Abb. 75:	Gegenüberstellung von terrestrisch aufge- nommenen und errechneten Geländehöhen	261
Abb. 76:	Lage der Knickpunkte für die EDV-gestützte Gradientenfestlegung	266

ZUSAMMENSTELLUNG DER TABELLEN

	Seite
Tabelle 1: Flächenbezogene Informationen	10
Tabelle 2: Stichprobenbezogene Informationen	12
Tabelle 3: Sekundärdaten und dafür benötigte Zusatzinformationen	14
Tabelle 4: Relationenschema für Objekt-(Assoziations)-Typ R (A, B, C, D)	25
Tabelle 5: Objekttypen mit Attributen bei flächenbezogenen Informationen	30
Tabelle 6: Objekttypen mit Attributen bei stichprobenbezogenen Geländedaten	31
Tabelle 7: Objekttypen mit Attributen bei stichprobenbezogenen Inventurdaten	31
Tabelle 8: Objekttypen mit Attributen bei stichprobenbezogenen Bodendaten (vgl. auch DIETZ et al., 1984, S. 51)	32
Tabelle 9: Assoziationstypen mit Attributen bei stichprobenbezogenen Daten	35
Tabelle 10: Klassifikation der Rauzigkeit (Mikrotopographie)	59
Tabelle 11: Zuordnung der Geländeklassen zu Befahrbarkeitsklassen (rasterweise, unabhängig von Erschließung)	61
Tabelle 12: Rückeverfahren und Befahrbarkeit (abgestellt auf landwirtschaftlichen Schlepper mit Forst-ausrüstung)	62
Tabelle 13: Überhöhungsfaktor und Maßstab	79
Tabelle 14: Besitzgrößenstruktur (vgl. LÖFFLER et al., 1985)	82
Tabelle 15: Intensitätsstufen der Planung beim Waldwegebau (vgl. DIETZ et al., 1984, S. 285)	104
Tabelle 16: Abweichungen zwischen Zirkeladditionsverfahren und ELLING-Methode	124
Tabelle 17: Trassencharakteristik (im Anhalt an DIETZ et al., 1984)	126

Tabelle 18:	EDV-Programme für die Projektierung beim Forstwegebau	131
Tabelle 19:	FIDES-Programm "WALD" - Normalprofil für das Projekt "Hollmaier Leite"	133
Tabelle 20:	FIDES-Programm - Ergebnislisten und Zeichnungen	135
Tabelle 21:	FIDES-Programm - Gegenüberstellung der Ergebnisse aus der klassischen und computergestützten Projektierung (Erdmassenberechnung)	136
Tabelle 22:	Vertikalverschiebung z (cm) bei verschiedenen Hangneigungen (vgl. RAAFATNIA, 1978)	143
Tabelle 23:	Schema für das Abspeichern der Querprofile	219
Tabelle 24:	Ausgangsmatrix des Transportproblems für die Beurteilung des Erdmassenausgleichs	226
Tabelle 25:	Testvarianten für die Auswahl des "optimalen" 3-D-Modells	237
Tabelle 26:	Gegenüberstellung von klassischer und computergestützter Projektierung - Erdmassensummen	268
Tabelle 27:	Gegenüberstellung von klassischer und computergestützter Projektierung - Erdmassenausgleich	269

ERLÄUTERUNG DER WICHTIGSTEN EDV-FACHAUSDRÜCKE
(NACH SCHARFENBERGER, 1972)

1. Anwenderprogramm : Programme, die nicht zum Betriebssystem (Systemsoftware) gehören.
2. Arbeitsspeicher : Speicherkapazität, die dem Benutzer als Programm- oder Datenspeicher zur Verfügung steht und die er beliebig mit System- oder Anwenderprogrammen belegen kann.
3. BASIC : Abkürzung für Beginners All Purpose Symbolic Instruction Code. BASIC ist eine höhere Programmiersprache, die vor allem bei Kleinrechnern und in der mittleren Datentechnik die größte Verbreitung gefunden hat; sie ist besonders für den Dialogbetrieb geeignet.
4. BATCH-Betrieb (Stapelverarbeitung) : Verarbeitungsart, in der das gesamte Programm mit allen Eingabedaten in den Computer eingegeben und dort gespeichert wird, bis es der Computer verarbeitet hat. Der Benutzer kann während des Programmablaufes nicht mehr, wie im Dialogbetrieb, auf das Programm einwirken.
5. Bit : Kurzform für Binary Digit; es ist die kleinste Darstellungseinheit im Dualsystem.
6. Byte : Kleinste Einheit, mit der in der Regel Computer arbeiten (1 Byte = 8 Bit).
7. C : Höhere Programmiersprache, die nicht an ein bestimmtes Betriebssystem oder an eine spezielle Hardware gebunden ist.
8. CAD : Abkürzung für Computer Aided Design; es umfaßt Entwicklungs- und Entwurfsarbeiten mit Hilfe eines Computers.
9. Datei : Bestimmte Menge von zusammengehörenden Daten, die auf einem Datenträger lokalisiert ist und die durch einen Namen eindeutig identifizierbar ist.
10. Datensatz (Record) : Grundelement einer Datei.

- | | |
|------------------------|---|
| 11. Dialog-Betrieb | : Im Gegensatz zum Batch-Betrieb findet ein ständiger Wechsel zwischen Benutzereingabe und Systemausgabe statt; der Dialog wird durch ein Programm gesteuert. |
| 12. Diskette | : Massenspeichermedium. |
| 13. Display | : Bezeichnung für eine optische Anzeigeeinheit, wie beispielsweise ein Bildschirm oder ein definierter Bildschirm-ausschnitt. |
| 14. DOS | : Abkürzung für Disk Operating System. Es handelt sich dabei um ein Betriebssystem. |
| 15. Festspeicherplatte | : Massenspeichermedium. |
| 16. Hardcopy | : Auf dem Papier ausgedruckter Inhalt einer Bildschirmseite. |
| 17. Hardware | : Elektronische und mechanische Bestandteile eines Computersystems. |
| 18. Input | : Vorgang der Datenübergabe von einem Peripheriegerät oder einer Schnittstelle an den Computer. |
| 19. Interaktiv | : Bezeichnung für ein Daten- oder Informationsaustauschverfahren zwischen Mensch und Maschine, bei dem für den Benutzer unmittelbare Unterbrechungs- und Eingriffsmöglichkeiten beim Ablauf eines Programmes bestehen (Dialog-Betrieb). |
| 20. KB (KByte) | : Abkürzung für Kilobyte (= 1024 Byte). |
| 21. Kompatibilität | : Verträglichkeit zwischen verschiedenen Systemen, d.h. gleiche Funktionen werden auf die gleiche Art und Weise durchgeführt. |
| 22. Laufwerk | : Antriebseinheit für Massenspeicher. |
| 23. Massenspeicher | : Speicher, in den größere Datenmengen ohne permanente Stromversorgung abgelegt werden. |
| 24. MB (MByte) | : Abkürzung für Megabyte (= 1024 Kilobyte). |

- 25. Menue (Maske) : Auswahlmöglichkeit aus einer Anzahl von Operationen, Befehlen, Funktionen oder Programmen auf dem Bildschirm; bildet die Voraussetzung für den Dialog-Betrieb.
- 26. Output : Vorgang der Datenausgabe vom Computer auf ein Peripheriegerät oder an eine Schnittstelle.
- 27. Peripherie : Alle externen Geräte, die an einem Computer angeschlossen sind, jedoch nicht unmittelbar Bestandteil des Computers selbst sind (z.B. Drucker).
- 28. Plot-Routinen : Programme oder Unterprogramme zur Steuerung der Zusammenarbeit zwischen Rechner und Plotter.
- 29. Plotter : Computer-Peripheriegerät, das digitale Daten in Form von Zeichnungen oder Graphiken ausgibt.
- 30. Programm : Folge von Anweisungen, die ein Rechner selbständig ausführen kann.
- 31. Schleife : Folge von Anweisungen, die mehrmals ausgeführt werden.
- 32. Software : Alle Programme, unabhängig davon, ob es sich um Anwenderprogramme oder Betriebssysteme handelt.
- 33. Speicherkapazität : Menge der Daten, die in einem Speicher oder auf einem Speichermedium maximal abgelegt werden können.
- 34. Subroutine (Unterprogramm) : Abgeschlossener Programmteil, der für eine bestimmte Aufgabenstellung konzipiert ist.
- 35. Zentraleinheit (CPU = Central Processing Unit) : Kernstück eines Computersystems; sie führt die Maschinenbefehle aus und verarbeitet die Daten entsprechend den Programmbefehlen.

1 EINLEITUNG

1.1 HINTERGRÜNDE DER UNTERSUCHUNG

Als KARL (1842) bei seinen Anleitungen zum Waldwegebau formulierte:

"Es finden sich zwar Waldungen des ebenen und hügelichten Landes, welchen durch ihre Einteilung in Jagden, Blöcke, Distrikte etc. eine zweckmäßige Wegeanlage nicht fehlt. Aber es sind dies doch meistens nur zusammenhängende Forste von der genannten Lage und von großer Ausdehnung. Dagegen tritt der gerügte Mangel in kleineren und gesonderten Waldungen um so mehr und am auffallendsten in Gebirgsforsten hervor, wo die nötigen Wege oft ganz abgehen oder in so trauriger Beschaffenheit vorhanden sind, daß sie kaum gebraucht werden können,"

konnte er schwerlich absehen, daß diese Aussagen fast eineinhalb Jahrhunderte später erneut aktuell sein würden.

In Mitteleuropa existieren mehr oder minder große Lücken in der Walderschließung mit Wegen in erster Linie im Kleinprivatwald und/oder im schwierigen Gelände. So lagen nach den Angaben von SCHANTZ (1983) in Bayern die Erschließungsrückstände im Körperschafts- und Kleinprivatwald zum Ende des Jahres 1981 bei etwa 22500 km gegenüber ca. 2500 km im Staatswald. Für Österreich nennt GORTON (1985) 22000 km Forststraßen, die überwiegend in Seehöhen über 1200 m zu bauen sind, um die Zielwegedichte von 30-40 lfm/ha zu erreichen. RAGETH et al. (1985) berichten für Graubünden, den größten Gebirgswaldkanton der Schweiz, daß etwa nur ein Viertel des Gesamtwaldgebietes mit Lastwagen zugänglich ist. Die Wegedichte liegt hier unter 10 lfm/ha. Außerhalb Mitteleuropas, und hier insbesondere in den Entwicklungsländern mit einem hohen Anteil an Gebirgswäldern, steht die Basiserschließung häufig noch am Anfang oder fehlt vollkommen.

Die künftig anstehenden Erschließungsaufgaben sind demzufolge überwiegend durch schwierige Randbedingungen, sei es von Seiten des Geländes oder von Seiten der Waldbesitzstruktur, charakterisiert.

Je schwieriger eine Erschließungsaufgabe ist, desto sorgfältiger sollte an sich die Planung durchgeführt werden, um die unter den jeweils relevanten Aspekten bzw. Kriterien optimale Lösung zu finden und zu realisieren (vgl. LÖFFLER, 1985). Dieser Forderung wurde in jüngerer Zeit häufig nur unzureichend entsprochen.

In Mitteleuropa - mit Ausnahme der Schweiz - wurde wegen Zeit- und Personalmangel die unter einfachen Verhältnissen noch akzeptable Methode, nämlich das direkte Abstecken der Wegeachse im Gelände ohne weitere Projektausarbeitung, auch auf schwierige Planungssituationen übertragen. Nicht selten beschränkt sich die Planung sogar auf das Abstecken der Leitlinie. Unbefriedigende Linienführungen, unnötige Eingriffe in die Landschaft, vergleichsweise hohe Bau- und Unterhaltskosten sowie wachsende Kritik am Waldwegebau ganz allgemein waren und sind die Folgen.

In Ländern, in denen der Wald bisher überwiegend exploitationsartig bewirtschaftet wurde, orientierte sich die Wegeplanung ausschließlich an der Zielsetzung, hiebsreife Bestände möglichst rasch und ohne großen Aufwand zugänglich zu machen. Da auch hier die Tendenz in Richtung Nachhaltigkeitsbetrieb mit regelmäßiger Bewirtschaftung weist, werden durchdachte Erschließungskonzepte gefordert.

In den Ländern der dritten Welt fehlte und fehlt bisher oft das "Know-How" für eine sachgerechte Walderschließung. Experten vermochten im Rahmen der Entwicklungshilfe nur zu einem geringen Teil die Lücken zu füllen. Auch in den nächsten Jahren wird es nicht möglich sein, Personal mit Fachwissen für die klassische Wegeprojektierung im erforderlichen Umfang zur Verfügung zu stellen oder auszubilden. Die Erschließung der Wälder als Grundlage einer ge-

regelten Fortwirtschaft sollte jedoch, wenn irgend möglich, realisiert werden.

Die aufgezeigten Situationen verdeutlichen, daß es einerseits in nächster Zukunft gilt, ein weites Feld an Erschließungsaufgaben mit überwiegend hohen Anforderungen an die Planung zu bewältigen, es andererseits an Zeit, Personal und finanziellen Mitteln mangelt. Es muß daher nach Wegen gesucht werden, den gesamten Planungsprozeß rationeller zu gestalten. Ein möglicher Lösungsansatz liegt in der Prozeßautomatisierung durch Anwendung der modernen Datenverarbeitung.

1.2 ZIELSETZUNG UND METHODIK

Das Ziel der vorliegenden Studie ist die Entwicklung eines interaktiv arbeitenden Programmsystems für die Wegeprojektierung. Dem Anwender soll damit die Möglichkeit gegeben werden, die Detailprojektierung von der Planung der Leitlinie bis hin zum Leistungsverzeichnis im direkten Dialog mit dem Rechner durchzuführen.

Gestützt auf die bei einschlägigen Vorarbeiten (LÖFFLER et al., 1985) gewonnenen Erfahrungen empfahl es sich, wie folgt vorzugehen:

1. Schaffung einer möglichst breiten Informationsbasis, um bei der späteren Bildschirmarbeit ein hinreichend genaues Bild des Planungsraumes mit Hilfe geeigneter Software generieren zu können. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß nach dem Übergang zur computergestützten Planung die bislang übliche Trennung zwischen Erschließungsplanung und Wegeprojektierung zunehmend an Bedeutung verliert, d.h. der gesamte Planungsprozess entwickelt sich im Laufe der Zeit zu einem integralen System mit alternativer Planung, Bewertung der Erschließungsvarianten und

direkt angeschlossener Detailprojektierung. Mit leistungsfähigen Rechnern wäre sogar die Wechselwirkung zwischen "alternativer" Projektausarbeitung und Bewertung vorstellbar. Voraussetzung dafür ist allerdings eine weitgehend programmunabhängige Datenbasis, auf die in jeder Phase der Planung zurückgegriffen werden kann.

Zunächst waren daher die Fragen zu klären, welche Informationen für die verschiedenen Planungsschritte benötigt werden, welche Möglichkeiten für die Informationsverarbeitung und -verwaltung (Datenbankmodelle) existieren und welche Erkenntnisse sich daraus für den Entwurf einer eigenen Gelände- und Planungsdatenbank ziehen lassen. Deren systematischer Aufbau zählt zu den grundlegenden Vorarbeiten für die EDV-gestützte Planung.

2. Bearbeitung eines Wegeprojekts nach der klassischen Methode, um eine Vergleichsbasis für die Gegenüberstellung manuelles - computergestütztes Vorgehen zu erhalten.
3. Sichtung vorhandener EDV-Programme für die Projektausarbeitung, um feststellen zu können, wie weit sich diese in das eigene EDV-Konzept eingliedern lassen.
4. Aufbau eines EDV-Systems für die EDV-gestützte Wegeprojektierung mit anschließendem Testlauf, um einen direkten Vergleich mit der klassischen Projektierungsmethode zu ermöglichen.

Die für die Untersuchung benötigten Felddaten entstammen einem Waldgebiet (bäuerlicher Privatwald) im Bereich des Forstamtes Schongau.

2 SCHAFFUNG EINER INFORMATIONSBASIS

2.1 GRUNDSÄTZLICHE ÜBERLEGUNGEN

Kennzeichnend für die Planungsarbeiten im Bereich der Walder-schließung ist die nach Art und Umfang enorme Fülle von Infor-mationen, die es zu beschaffen und zu verarbeiten gilt, soll ein allseits akzeptiertes Erschließungskonzept gefunden werden. Die forstliche Praxis tendierte allerdings bislang aus einlei-tend erwähnten Gründen - Mangel an Zeit und einschlägig geschul-tem Personal - eher dazu, sich bei der Entscheidung über einen Wegebau mit einem Minimum an Informationen zu begnügen.

Der Einsatz des Computers für die Wegeplanung verlangt ein Um-denken. Die bisher im Rahmen der technischen Planung erforder-liche Geländearbeit soll in Zukunft direkt am Bildschirm durch-geführt werden. Dies läßt sich nur zufriedenstellend verwirkli-chen, wenn sich der Planer mit Hilfe des Computers ein möglichst zuverlässiges Bild des Planungsraumes verschaffen kann. Der Be-schaffung von Informationen und deren EDV-gestützter Weiterver-arbeitung und Verwaltung muß daher im Vergleich zu den klas-sischen Planungsmethoden ein weitaus höherer Stellenwert beige-messen werden.

Es ist bekannt, daß die Datenaufnahme im Gelände - sei es anhand eines systematischen Stichprobennetzes oder durch eine flächen-gleiche Kartierung - mit einem enormen Zeitaufwand verbunden ist. Es wäre daher nicht zu rechtfertigen, Informationssysteme aus-schließlich problemorientiert, d.h. auf ein spezielles Planungs-programm zugeschnitten, anzulegen.

Für eine programmunabhängige Datenspeicherung und -verwaltung werden heute überwiegend Datenbanksysteme benutzt. Übertragen auf die EDV-gestützte Planung im Forstbetrieb, sollte daher unter der Schaffung einer Informationsbasis der Aufbau einer Gelände-

und Planungsdatenbank verstanden werden. Um deren vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten ausschöpfen zu können, müssen über kurz oder lang weitere Bereiche für die Datenverarbeitung eröffnet werden. Als Beispiel hierzu sei angefügt, daß in den USA schon seit geraumer Zeit Programme zur Planung des Einsatzes von Mobilseilkranen (NICKERSON, 1980) zur Verfügung stehen.

2.2 INFORMATIONSBASIS FÜR ERSCHLIESSUNGSPLANUNG UND WEGEPROJEKTIERUNG

Der systematische Aufbau einer Datenbank ist nur zu gewährleisten, wenn Klarheit darüber besteht, welche Informationen in welcher Form in die Informationsbasis aufgenommen werden sollen. Die Anlage einer Gelände- und Planungsdatenbank setzt daher stets eine klar definierte Aufgabenstellung, wie in der vorliegenden Untersuchung die Wegeplanung, voraus. Für diese ist der Informationsbedarf festzulegen. Ob die für diese speziellen Zwecke erstellte Informationsbasis dann letztlich auch für andere Planungsmaßnahmen ausreicht oder einer Erweiterung bedarf, muß für den Einzelfall entschieden werden.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß sich ein allen Ansprüchen genügendes Erschließungskonzept nur realisieren läßt, wenn entsprechend umfassende Planungsunterlagen zur Verfügung stehen. Dabei kann es sich nach DIETZ et al. (1984) um Informationen handeln

- über das Gelände,
- über den Wald und seine Bewirtschaftung,
- über technische, ökonomische und rechtliche Rahmenbedingungen des Straßenbaues und des Verkehrs und
- über besondere Einflüsse auf und Wünsche an die Erschließung.

Einen Überblick darüber, wie sich der Informationsbedarf auf die einzelnen Planungs- und Bewertungsschritte der Erschließungsplanung und Wegeprojektierung verteilt, gibt die Matrix in Abb. 1.

		PLANUNGSSCHRITTE						
		Erschliessungsplanung		Projektausarbeitung				
		PLAN	BEW	ACHS	LAE	QUER	MABE	LEIS
INFORMATIONSBEREICHE	Gelaendeverhaeltnisse							
	Waldverhaeltnisse							
	Kosten und Erloese							
	Besitzverhaeltnisse							
	Erschliessungssituation							
	Kardinalzonen							
	Standoertliche Situation							
	Oekologische Situation							
	Landschaftsaesthetische Situation							



= entscheidungsrelevant



= Unterstuetzung des Vorgangs

PLAN = Technische Planung (Trassierung) der Leitlinien

BEW = Variantenvergleich (Bewertung)

ACHS = Festlegung der Tangenten (Wegeachse)

LAE = Erstellung des Gelaendelaengenprofils + Gradiente

QUER = Erhebung der Gelaendequerprofile + Einlegen der Kunstquerprofile

MABE = Erdaessenberechnung + -ausgleich

LEIS = Leistungsverzeichnis

Abb.1: Informationsbedarf fuer die Wegeplanung

Es zeigt sich, daß für die generelle Erschließungsplanung, bei der die Entscheidung für oder gegen eine Linienführung fällt, im Vergleich zur Detailprojektierung ein starkes Übergewicht an Informationsbedarf besteht. Welche Bedeutung den Daten für die generelle Planung im einzelnen zukommt, soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht näher diskutiert werden. LÖFFLER et al. (1985) erörtern diese Frage sehr eingehend in ihren Ausführungen zur "Planung und Bewertung der Walderschließung - unter besonderer Berücksichtigung des Kleinprivatwaldes". Der Zugriff auf die für die Projektausarbeitung (einschl. Leitlinienplanung) benötigten Informationen wird in Verbindung mit der EDV-gestützten Wegeprojektierung (Kapitel 5) behandelt.

Darüberhinaus ergeben sich aus der Zuordnungsmatrix (Abb. 1) Hinweise, aus welchen Informationsbereichen - es handelt sich dabei um übergeordnete Begriffe, die eine Reihe von Einzelinformationen subsumieren - Daten für die Speicherung in einer Datenbank zu erwarten sind.

Diese Gliederung in Informationsbereiche genügt allerdings noch nicht, um ein Konzept für eine Gelände- und Planungsdatenbank entwerfen zu können. Um dies zu bewerkstelligen, muß Klarheit darüber bestehen, für welche Einzelinformationen die Aufnahme in die Informationsbasis vorzusehen ist.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei in diesem Zusammenhang hervorgehoben, daß mit der Beschreibung der für Erschließungsmaßnahmen relevanten Informationen (= Informationsbedarf) nicht von vornherein festgelegt wird, welche Informationen für ein bestimmtes Erschließungsprojekt zu beschaffen sind. Dafür ausschlaggebend sind projektbezogene Kriterien wie der Grad der Schwierigkeit des Projektes, die damit verbundenen Anforderungen an die Planungintensität, außerforstliche Interessen und schließlich die Verfügbarkeit der Informationen.

Mit der nachfolgenden Zusammenstellung des Informationsbedarfs soll ein Rahmen abgesteckt werden,

- in welcher Form die sog. Primärdaten gewonnen und an den Rechner weitergegeben werden können,
- welche vorhandenen Informationsquellen genutzt werden können und/oder welche zusätzlichen ad hoc-Erhebungen im Gelände durchzuführen sind und
- welche Sekundärdaten sich aus den Primärdaten, ggf. nach der Vorgabe von Zusatzinformationen, mit Hilfe des Computers ableiten lassen.

LÖFFLER et al. (1985) stellen heraus, daß es sich bei den Gelände- und Planungsdaten in der Mehrzahl um flächen- und raumbezogene Informationen handelt. Diese können sowohl flächentreu als auch über Stichproben erhoben werden.

Die Entscheidung, welche Aufnahmetechnik benutzt wird, wirkt sich, wie noch zu zeigen sein wird, auf Grund der unterschiedlichen Datenstruktur ganz erheblich auf die spätere Datenbankgestaltung aus. Dieser Tatsache wurde daher bereits bei der nachfolgenden detaillierten Beschreibung des Informationsbedarfs Rechnung getragen.

Es wurde grundsätzlich getrennt in sogenannte flächenbezogene Informationen, die aus der flächentreuen Erhebung stammen, und in stichprobenbezogene Informationen, für deren Aufnahme die Stichprobenrastertechnik mit einem regelmäßigen quadratischen Rasternetz benutzt wird. Darüberhinaus bilden die sogenannten abgeleiteten oder Sekundärdaten einen eigenen Block. Die Zuordnung zu den einzelnen "Informationskategorien" spiegelt wider, welches Vorgehen sich bislang für die praktische Datenerfassung als zweckmäßig erwies und gleichzeitig den Anforderungen der Erschließungsplanung genügte.

Tabelle 1 zeigt, für welche Informationen die flächentreue Erfassung vorzusehen ist. Bei den Elementen mit gestrichelter Umrahmung

Tab. 1: Flächenbezogene Informationen

Nr.	Information	Datenquelle
1	2	3
1.1	Gebietsgrenze	Gelände Höhenflurkarte
1.2	Parzellengrenzen	Flurstückskarte
1.3	[Besitzverhältnisse]	Befragung Waldbesitzerver- zeichnis, Grundbuch Flurstückskarte
1.4	Kardinalzonen (-punkte) (positiv + negativ)	Gelände topographische Karte thematische Karten
1.5	[Standörtliche Situation]	Gelände topographische Karte thematische Karten
1.6	[Ökologische Situation]	
1.7	Bringungseinheiten	
1.8	Einsehbare Zonen	Gelände 3 D-Geländemodell
1.9	Topographie (Höhenlinien)	Gelände (G) topographische Karte (T) Luftbild (L)
1.10	Äußere Erschließung	Gelände/Karte
	Innere Erschließung	
1.11	- mit Hauptfahrwegen	
1.12	- mit Rückewegen	Gelände

Gelände: Geländebegang und Kartierung oder Aufnahme im Gelände

Karten: Falls vorhanden großmaßstäbliche Karten

wurde darauf verzichtet Detailinformationen auszuschneiden, d.h. sie werden wie bereits in Abb. 1 weiterhin als Informationsbereiche behandelt. Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, daß in Anbetracht der möglichen Datenfülle hierfür selbständige Informationssysteme für notwendig gehalten werden. Diese werden im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter erläutert. Grundsätzlich ist jedoch darauf zu achten, daß sich Informationssysteme, sollen sie kompatibel sein, in ihrer Grundstruktur entsprechen sollten.

Als Sonderfall sind auch die Kardinalpunkte (-zonen) - in der Schweiz als Fixpunkte bezeichnet (KUONEN, 1983) - zu behandeln. Aus der allgemeinen Definition von DIETZ et al. (1984) mit

- positive Kardinalpunkte = Bereiche die erschlossen werden müssen (erste Priorität) oder erschlossen werden können (niedrigere Priorität) und
- negative Kardinalpunkte = Bereiche die von Erschließungslinien gemieden werden müssen (erste Priorität) oder gemieden werden sollten (niedrigere Priorität),

läßt sich noch nicht ableiten, auf welche Einzelinformationen deren Festlegung basiert. Den Ausschlag dafür geben projektbezogene Wünsche, Forderungen und Restriktionen.

In diesem Zusammenhang sei auch auf die in Spalte 3 aufgeführten jeweils möglichen Datenquellen hingewiesen. So sind beispielsweise Kardinalzonen in der Mehrzahl der Fälle direkt im Gelände zu kartieren. Topographische Karten und, falls vorhanden, thematische Karten können diese Arbeit jedoch wesentlich erleichtern.

In der Tabelle 2 sind die stichprobenbezogenen (= rasterpunktbezogenen) Informationen zusammengefaßt. Mit diesen werden zum größeren Teil die Informationsbereiche "Geländebeziehungen" und "Waldbeziehungen" abgedeckt.

Tab. 2: Stichprobenbezogene Informationen

Nr.	Information	Datenquelle
1	2	3
2.1	Geländedaten i.e.S.	-
2.1.1	Höhen über NN	Gelände topographische Karte Luftbild
2.1.2	Hangneigung	
2.1.3	Hangform	Gelände
2.1.4	Rauhigkeit	
2.2	Bodendaten	-
2.2.1	Boden und Wasser	Gelände, Labor
2.2.2	Dichte und Porenraum	
2.2.3	Korngrößenverteilung	
2.2.4	Zustandsgrenzen, Plastizität	
2.2.5	Verdichtbarkeit	
2.2.6	Bodenfestigkeit	
2.3	Inventurdaten	-
2.3.1	Baumartenanteile	Gelände (EDV-Auswertung)
2.3.2	Alter	
2.3.3	Ertragsklasse	
2.3.4	Grundflächen	
2.3.5	lfd. Zuwachs	
2.3.6	Vorrat	
2.3.7	Bestockungsgrad	
2.3.8	Hiebsatz	
2.3.9	Nutzungsart	

Gelände: Aufnahme im Gelände

Labor: Analysen und Auswertungsarbeiten im Büro

Zu ersterem lassen sich über Stichprobenaufnahmen Daten zu den Reliefverhältnissen, der Mikrotopographie und den Bodeneigenschaften gewinnen. Der Vorschlag, diese in Geländedaten i.e.S. und in Bodendaten aufzuteilen, ist darauf zurückzuführen, daß Fragen zum Problem "Boden", wie etwa die lebhaften Diskussionen zum Breitreifeneinsatz beweisen, immer mehr in den Mittelpunkt des Interesses rücken. Es sollte daher die Möglichkeit vorgesehen werden, diesen Datenkomplex, falls gewünscht oder erforderlich, als eigenständiges Informationssystem zu behandeln. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß für die Beschreibung der Bodendaten in Tabelle 2 vorläufig nur zusammenfassende Bezeichnungen (vgl. DIETZ et al., 1984, S.51) herangezogen wurden. So gehören beispielsweise zu "Boden und Wasser" die Kennwerte Bodenart, Anteil an organischem Material, Durchwurzelung, natürlicher Wassergehalt und Durchlässigkeitbeiwert. Der endgültige Datenbankaufbau sieht selbstverständlich vor, jeweils die dazugehörigen Einzelinformationen zu integrieren.

Innerhalb des Informationsbereichs "Waldverhältnisse" wird davon ausgegangen, daß die Einzeldaten aus einer Stichprobeninventur zur Verfügung stehen. Diese Inventurdaten stellen den dritten großen Informationsblock innerhalb der stichprobenbezogenen Informationen dar.

Neben der für die Beschreibung der Primärinformationen benutzten Strukturierung in flächen- und stichprobenbezogene Daten, empfiehlt es sich, von vorneherein festzustellen, welche Sekundärdaten sich ableiten lassen, und welche Zusatzinformationen zu diesem Zweck der Informationsbasis zuzuführen sind. Tabelle 3 informiert über diesen Datenblock. Auf Erläuterungen, auf welchen Grunddaten die abgeleiteten Informationen basieren und welche Algorithmen für deren Herleitung benutzt werden, soll hier vorläufig verzichtet werden. Diese Frage wird in Verbindung mit der datenbankinternen Datenmanipulation in Abschnitt 2.6.3 eingehend erörtert.

Tab. 3: Sekundärdaten und dafür benötigte Zusatzinformationen

Nr.	Information	Zusatz- informationen
1	2	3
3.1	Bodenklassen	-
3.2	Geländeklassen	-
3.3	Befahrbarkeits- klassen	-
3.4	Rückeentfernung (status quo)	-
3.5	Dimensionierung der Tragschicht	-
3.6	"cost areas"	Arbeitskosten Baustoffkosten
3.7	"Raumwiderstand"	-
3.8	3-D-Geländemodell	-

Aus der Beschreibung des Informationsbedarfs mit Primär- und Sekundärdaten geht hervor, daß dem Informationsbereich "Kosten und Erlöse" (vgl. Abb. 1) lediglich für die Ausscheidung von sogenannten "cost areas" (= Bereiche in einem Erschließungsgebiet mit gleichen Kosten/lfm Weg) eine gewisse Bedeutung zukommt. In diesem Zusammenhang werden, wie noch zu zeigen sein wird, Kosten für das Tragschichtmaterial (DM/cbm) und Kostensätze für Baumaschinen (DM/Stunde) benötigt. Für die Bewertung von Erschließungsalternativen im Rahmen der Erschließungsplanung schlagen wir vor, die jeweils aktuellen Kosten und Erlöse ad hoc zu eruierten und vorzugeben. Sollte die Datenverarbeitung benutzt werden, so sind in die Programme entsprechende Abfragen einzubauen.

Der Umfang der für die EDV-gestützte Wegeplanung relevanten Informationen bestätigt die einleitend aufgestellte Forderung nach einem geeigneten Informationssystem. Heute werden für die rechnerintegrierte Daten- und Dateiverwaltung die verschiedensten Datenbanksysteme propagiert. Weshalb dies so ist, auf welche Modelle und Theorien diese Systeme aufbauen und wie sich diese auf die Gestaltung einer eigenen Gelände- und Planungsdatenbank auswirken, wird nachfolgend dargelegt.

2.3 DATENBANKSYSTEME - BEDEUTUNG UND GRUNDKONZEPTION

Im Zusammenhang mit der Speicherung und effizienten Verwaltung großer Datenmengen rücken Datenbanksysteme immer mehr in den Vordergrund. Dies wird deutlich zum einen durch die Entwicklung zahlreicher Datenbanksysteme, die nach anfänglicher Eignung ausschließlich für Großrechner heute bereits die Implementierung auf leistungsschwächeren Mikrocomputern zulassen, und zum anderen durch die zahlreichen Publikationen, die in jüngerer Zeit zum Thema Datenbankmodellierung erschienen sind. Aus der breiten Literaturpalette sollen hier stellvertretend die Arbeiten von CODD (1972), DATE (1977), SCHLAGETER et al. (1977), HÄRDER (1978), BASTIAN (1982), VINEK et al. (1982) und REBSAMEN (1983) genannt werden.

Der Fortschritt bei der Datenbankmodellierung ging konform mit der Entwicklung der Datentechnik. Heute kann erstere als eigenständiges Arbeitsgebiet im EDV-Wesen betrachtet werden. Die zunehmende Bedeutung dieser Art der Informationsverarbeitung ist darauf zurückzuführen, daß

- das Informationsangebot ständig zunimmt,
- eine verbesserte Kommunikation zwischen verschiedenen Informationsstellen verlangt wird und
- insbesondere die Nachteile von herkömmlichen Speichersystemen weitgehend ausgeschaltet werden sollen.

Bei den bisherigen Organisationsformen von Informationen in Listen, Karteien und Dateien haben sich folgende Merkmale als besonders nachteilig erwiesen (BASTIAN, 1982):

1. Die hohe Redundanz, d.h. dieselben Informationen sind in mehreren Dateien gespeichert und wertvoller Speicherplatz wird belegt.
2. Die mögliche Inkonsistenz, da aufgrund der Mehrfachspeicherung eine ständige Überwachung der Dateiinhalte kaum zu gewährleisten und somit deren logische Übereinstimmung nicht mehr gegeben ist.
3. Die mangelnde Flexibilität aufgrund einer Daten-Programm-Abhängigkeit, da der Dateiaufbau stark an die Erfordernisse des jeweiligen Verarbeitungsprogramms angepaßt ist.

Die Schwächen der konventionellen Datenorganisation können durch ein Datenbanksystem zum Teil behoben, zumindest aber vermindert werden (WENDL, 1983).

Für die grundsätzliche Datenbankgestaltung hat sich im Laufe der Zeit das sogenannte Drei-Schichten-Konzept herauskristallisiert (Abb. 2). Es beinhaltet eine Differenzierung in die externe, die konzeptionelle und die interne Schicht, wobei die konzeptionelle Schicht (= Modell) eine zentrale Funktion ausübt. In diesem Teil des Datenbanksystems wird mit Hilfe eines Datenmodells jener Teil der realen Welt, der durch Daten dargestellt werden soll, beschrieben. Im internen Modell erfolgt die physische Datenorganisation, also die tatsächliche Speicherung der Daten. Das externe Modell bringt die Bedürfnisse der einzelnen Benutzergruppen zum Ausdruck. Dabei wird berücksichtigt, welche Daten von Interesse sind und wie der Benutzer sie sehen will, d.h. eine spezielle Benutzersicht wird definiert. Da man sich zu deren Beschreibung ebenfalls der Datenmodelle bedient, ist es bei begrenzten Datenbanksystemen, wie etwa einfachen Einbenutzersystemen, ohne weiteres möglich, daß das

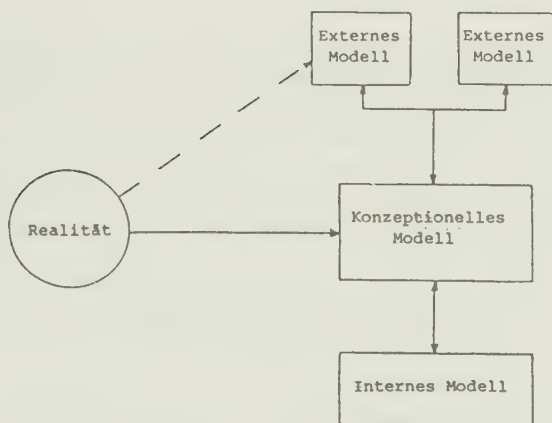


Abb.2: Drei-Schichten-Konzept als Datenbankarchitektur

konzeptionelle und das externe Modell identisch sind. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, daß die eben genannten Modelle oder Schichten nach der Übertragung in eine maschinell verarbeitbare Form als Schemata, so z.B. als konzeptionelles Schema, bezeichnet werden.

2.4 DIE KLASSISCHEN DATENMODELLE

Zur Formulierung des konzeptionellen Modells wie auch der externen Modelle in Datenbanksystemen haben sich in der Praxis folgende Datenmodelle durchgesetzt:

- das hierarchische Modell,
- das Netzwerkmodell,
- das Relationenmodell.

Unter einem Modell ist in diesem Zusammenhang ein Hilfsmittel zu verstehen, das dazu dienen soll, Ausschnitte der realen Welt in

strukturierter und der Datenverarbeitung zugänglicher Form zu charakterisieren (REBSAMEN,1982). Ansätze hierzu sind bereits bei der Beschreibung des Informationsbedarfs (Kapitel 2.2) zu erkennen.

Es ist nicht Aufgabe dieser Arbeit, die Datenmodelle im Detail zu behandeln. Lediglich auf deren wesentliche Charakteristika soll in einem Überblick eingegangen werden.

2.4.1 Gemeinsame Strukturmerkmale von Datenmodellen (das generelle Entity-Relationship-Modell)

Dem Modell liegt die Annahme zugrunde, daß - wie NIJSEN (1976) es zum Ausdruck bringt - die perzipierbare Realität beschreibbar ist durch diskrete Objekte (= Entities) und ihre Eigenschaften, sowie durch die Beziehungen (= Relationships) zwischen den Objekten.

Ähnliche Entities werden zu sog. Objekttypen zusammengefaßt, wobei ausschlaggebend ist, welche Eigenschaften (= Attribute) die Objekte dieses Typs kennzeichnen. Zur Identifizierung eines Objekts innerhalb einer Datenbank wird zu jedem Objekttyp eine bestimmte Menge von Attributen, die auch als Schlüssel oder identifizierende Attributmenge bezeichnet wird, herangezogen. Abb. 3 veranschaulicht in vereinfachter Form Beispiele für die Objekttypen "GELÄNDE" und "BODEN" mit Attributen.

Ebenso wie die Objekte werden auch die Beziehungen (Assoziationen) zwischen diesen zu Assoziationstypen zusammengefaßt. Diese können ebenfalls durch Attribute charakterisiert werden. Welche Beziehungsarten beim Entwurf einer Datenbank eine Rolle spielen, wird bei der Beschreibung der einzelnen Datenmodelle näher erläutert. Wie eine mögliche Beziehung zwischen den in Abb. 3 aufgezeigten Objekten aussehen könnte, verdeutlicht die Abb. 4 mit den Assoziationen "GELÄNDEKLASSE (GK)", die zum neuen Objekttyp "GELÄNDEKLASSE" führen.

GELÄNDE

Hang- neigung	Hangform	Relieftyp	Rauhigkeit	-----
------------------	----------	-----------	------------	-------

BODEN

CBR-Wert	Korngrößen- verteilung	Fließgrenze	Proctordichte	-----
----------	---------------------------	-------------	---------------	-------

Abb.3: Objekttypen mit Attributen

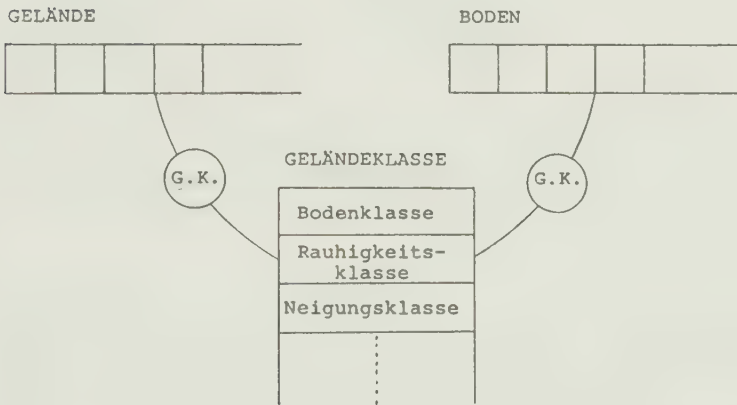


Abb.4: Objekttypen mit Assoziationstypen G.K.

Ein Element der Realität kann sowohl als Objekttyp als auch als Attribut definiert werden. Dadurch kann die Beziehung zwischen einem Objekttyp und einem seiner Attribute auch als Beziehung zwischen zwei Objekttypen dargestellt werden, sofern man das jeweilige Attribut als eigenen Objekttyp behandelt. Grundsätzlich gilt allerdings, daß Attribute die kleinste Einheit innerhalb einer Datenbank bilden, d.h. sie dürfen in sich nicht weiter strukturiert sein. Sie werden daher auch als "atomar" bezeichnet. Da das Attribut das kleinste Strukturmerkmal repräsentiert, müssen mit seiner Hilfe den Objekten Werte zugeordnet werden. Zu diesem Zweck können attributspezifische Wertebereiche (= Domains) definiert werden.

2.4.2 Einfache graphenorientierte Modelle

Typisch für diese Gruppe von Datenmodellen, die die Basis für sog. strukturierte Datenbanken bilden, sind die fixierten Bedingungen (Assoziationstypen) zwischen den Objekttypen, mit denen der Zugriff zu den einzelnen Datenelementen nur über festgelegte Pfade, die mit Hilfe der Assoziationstypen charakterisiert werden, erfolgen kann. Diese Zutrittspfade müssen bereits bei der Erstellung einer Datenbank dieses Typs exakt spezifiziert werden. Als Vertreter der einfachen graphenorientierten Modelle gelten

- das hierarchische Modell und
- das Netzwerkmodell.

Das hierarchische Modell orientiert sich an der Baumstruktur, etwa eines Stammbaumes, mit der Konsequenz, daß jeder Objekttyp, streng dem 1 : n - Assoziationstyp folgend, höchstens einen übergeordneten Objekttyp hat. Nur der Ausgangspunkt des Modells ist ein Objekttyp ohne Vorgänger, der als Wurzeltyp bezeichnet wird. In Abb. 5 wird die Grundidee des hierarchischen Datenmodells in einen Ansatz für eine Geländedatenbank umgesetzt, ohne natürlich in diesem einfachen Beispiel den Anspruch auf Vollständigkeit erheben zu wollen.

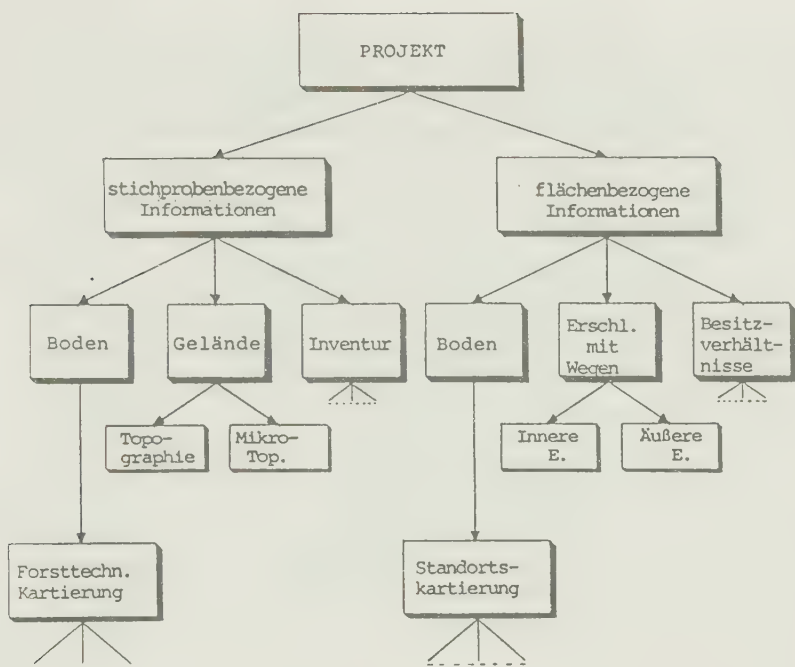


Abb.5: Ansatz fuer ein hierarchisches Modell einer Gelaende- und Planungsdatenbank

Angesichts der logischen Struktur von hierarchischen Datenbankmodellen möchte man zunächst vermuten, sie würden sich für den Aufbau einer Gelände- und Planungsdatenbank in besonderem Maße eignen. Dies trifft jedoch nicht zu. Die eingeschränkten Zugriffsregeln lassen bereits Beziehungen, wie sie in Abb. 4 dargestellt sind, nicht mehr zu, da der Objekttyp "GELÄNDEKLASSE" aus zwei übergeordneten Objekttypen ("GELÄNDE" und "BODEN") abgeleitet wurde.

Damit diese sogenannten $m : n$ - Beziehungen in einer Datenbank eingebaut werden können, wurde das **Netzwerkmodell** mit einem zusätzlichen Verkettungstyp geschaffen, mit dessen Hilfe ein Objekt auch in mehreren Assoziationstypen untergeordneter Partner sein darf (VINEK et al., 1982). Die Eigenschaft "Viele-zu-Viele-Beziehungen" zuzulassen, ist im übrigen das einzige Unterscheidungsmerkmal zwischen Verkettungs- und Objekttyp.

Die Abb. 6 verdeutlicht, welchen praktischen Nutzen die Erweiterung zum Netzwerkmodell mit sich bringt. Aus dem Objekttyp "GELÄNDE" lassen sich über $1:n$ -Beziehungen die Objekttypen "HANGNEIGUNGSKLASSE" und "RAUHIGKEITSKLASSE" erreichen. Aus dem Objekttyp "BODEN" kann ebenfalls über eine "Eins zu Viele-Beziehung" der Objekttyp "BODENKLASSE" ermittelt werden. Für Planungszwecke sollten die genannten Objekttypen im Objekttyp "GELÄNDEKLASSE" zusammengeführt werden. Da es sich dabei um mehrere übergeordnete Objekttypen handelt, ist dies nur mit Hilfe einer $m:n$ -Beziehung möglich. Der Objekttyp "GELÄNDEKLASSE" repräsentiert in diesem Fall den Verkettungstyp. Attribute sind die "HANGNEIGUNGSKLASSE", die "RAUHIGKEITSKLASSE" und die "BODENKLASSE".

Abgesehen von diesem Vorteil bleibt jedoch wie beim hierarchischen Modell der relativ komplizierte Datenzugriff auch bei einfacheren Fragestellungen als Nachteil bestehen. Um etwa die Information zur Geländeklasse zu erhalten, muß immer mit Hilfe programmierter Alternativfragen der Weg über die dafür benötigten Objekttypen herausgefunden werden. Mit zunehmendem Datenumfang verlangt die Navigationssprache einen enormen Programmieraufwand. Hinzu kommt, daß auf Grund der starren Struktur der einfachen graphenorientierten Modelle das festgelegte Schema nur für eine konkrete Anwendung mit bestimmtem Informationsgehalt gilt, d.h. die gesamte Datenbank muß neu gestaltet werden, falls neue Informationen einfließen sollen. Diese Schwächen der strukturierten Datenmodelle beeinflussen entscheidend die Entwicklung des Relationen-Modells.

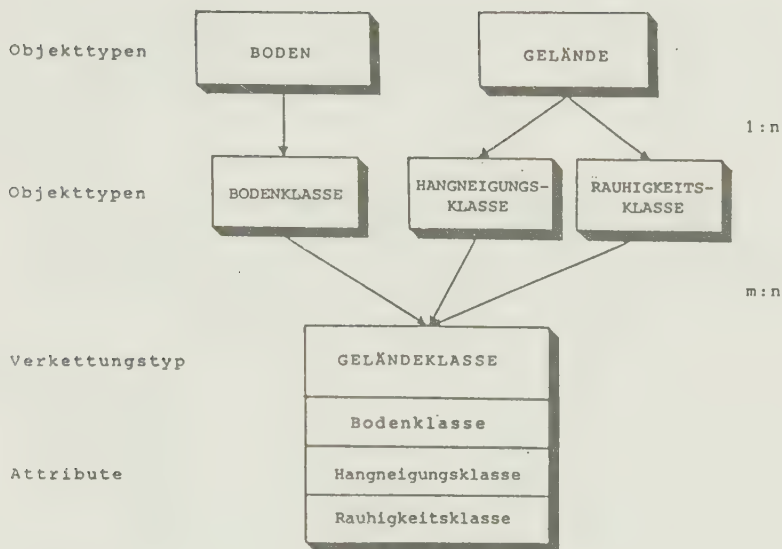


Abb.6: m : n - Assoziation mit Verkettunstyp Stichprobenpunkt "Gelaendeklasse"

2.4.3 Das Relationenmodell

Nachfolgend sollen zunächst nur einige grundlegende Begriffe des Relationenmodells, das auch planares oder lineares Datenmodell genannt wird, erläutert werden. Auf die Entwicklung und Anwendung dieses Modells wird in den nachfolgenden Kapiteln in Verbindung mit dem Aufbau einer Gelände- und Planungsdatenbank näher eingegangen.

Beginnend mit der Arbeit von CODD (1970) wurde in den letzten Jahren auf die Weiterentwicklung des Relationenmodells ein besonderer Schwerpunkt gelegt. Neben einer einfacheren Navigation wird die Schaffung einer größeren Programm-Daten-Unabhängigkeit als weiterer wichtiger Beweggrund für die Entwicklung dieses Modells genannt.

Heute gilt das Relationenmodell als das am genauesten theoretisch untersuchte Datenmodell. Das umfangreiche Literaturangebot speziell zu diesem Thema bestätigt dies. Die nachfolgenden Ausführungen stützen sich überwiegend auf die Publikationen von CODD (1970), BASTIAN (1982) und VINEK et al. (1982).

Der zentrale Begriff dieses Datenmodells ist die Relation. Darunter ist eine Darstellung sowohl der Objekttypen als auch der Assoziationstypen in einer gleichgearteten Tabellenform zu verstehen. Es besteht im Gegensatz zu den anderen Modellen somit kein formaler Unterschied zwischen diesen beiden Typen. Da in diesem Fall die Assoziationen immer aus einer Verknüpfung von Objekttypen resultieren, treten sowohl Objekt- als auch Assoziationstypen als Informationsträger auf. Eine komplette relationale Datenbank setzt sich letztendlich aus einer Menge von Tabellen, die Objekt- und Assoziationstypen repräsentieren, zusammen.

In Tabelle 4 ist das Tabellengerüst als Grundbaustein des Relationenmodells, im weiteren auch als Relationenschema bezeichnet, dargestellt.

Die Spalten der Tabellen entsprechen den einzelnen Attributen. Die Daten, die den Attributen und damit den Objekt- oder Assoziationstypen zugeordnet werden, bilden folglich die Zeilen der Tabellen für die in der Fachterminologie der Begriff **Tupel** eingeführt wurde. Definitionsgemäß wird die Tabelle als Menge von Tupeln behandelt. Gleiche Zeilen dürfen daher nicht vorkommen.

Tab. 4: Relationenschema für Objekt - (Assoziations) - Typ
R (A, B, C, D)

R (A, B, C, D)				
A T T R I B U T E				
	<u>A</u>	B	C	D
	1	2	3	4
T U P E L N	a ₁	b ₁	-	d ₁
	a ₂	b ₂	c ₁	d ₂
	a ₃	-	-	d ₃
	a ₄	b ₃	-	-

Aus dem Relationenschema wird auch ersichtlich, daß das erste Attribut unterstrichen ist. Es handelt sich hierbei um das sog. Schlüsselattribut, das dazu dient, ein Objekt oder eine Assoziation eindeutig zu identifizieren. In der jeweiligen Spalte müssen alle Werte vorhanden sein, dagegen ist es bei den anderen Attributen erlaubt, daß Attributwerte fehlen. Dieses Merkmal kann sich beim Aufbau einer Geländedatenbank, bei der in der Datenbasis durchaus Lücken vorzufinden sind, sehr vorteilhaft auswirken.

Der erste Schritt beim Aufbau einer umfassenden Datenbank ist die Erarbeitung eines geeigneten konzeptionellen Schemas, falls möglich auf relationaler Basis.

2.5 DAS KONZEPTIONELLE SCHEMA EINER GELÄNDE- UND PLANUNGSDATENBANK

Eine wichtige Komponente beim Aufbau einer Datenbank stellen die Datenbanksprachen dar, die zum einen zur Beschreibung des konzeptionellen Schemas und der externen Schemata, also zur Beschreibung der logischen Struktur der Datenbankinhalte dienen (VINEK et al., 1982), und zum anderen dem Benutzer den Rahmen vorgeben, wie Daten abzuspeichern, zu verändern oder zu lesen sind (BASTIAN, 1982). Nach den unterschiedlichen Aufgaben wird differenziert in

- die Datenbeschreibungssprache (= DDL; data description language),
- die Datenmanipulationssprache (= DML; data manipulation language).

Nachfolgend wird zunächst aufgezeigt, wie beim Entwurf des konzeptionellen Schemas einer relational aufzubauenden Gelände- und Planungsdatenbank vorgegangen werden kann. Dabei ist zu entscheiden, wie die Relationen im Anhalt an den eingangs dargestellten Informationsbedarf in Objekt- und Assoziationstypen zu strukturieren und welche weiteren Detailinformationen (= Attribute) in diesem Zusammenhang auszuscheiden sind. Daraus ergeben sich Hinweise für die Eingabe- und Ausgaberroutinen und die Ableitungsregeln.

2.5.1 Entwurfsstrategien

Die erste Phase des Entwurfsprozesses wurde im Grunde mit der Auflistung des Informationsbedarfs abgeschlossen. Bei diesem Schritt spielten weniger die Kenntnisse der Datenbanktheorien, als vielmehr die genaue Vorstellung über das zu erfassende Datenspektrum die entscheidende Rolle. Lediglich bei der Einteilung in Datenblöcke, beispielsweise in flächen- und stichprobenbezogen, wurde bereits auf Aspekte der Datenbankmodellierung geachtet.

Um innerhalb eines Datenbanksystems eine logische Anordnung aller zu speichernden Informationen zu erhalten, wobei hier unter "logisch" zu verstehen ist, daß die Nachteile herkömmlicher Speichersysteme weitgehend ausgeräumt werden sollten, stehen theoretisch zwei Vorgehensweisen zur Diskussion. Es handelt sich dabei um:

1. Die Methode der schrittweisen Verfeinerung (Top-Down-Entwurf), bei der zunächst eine Grobstruktur der Datenbank erstellt und anschließend schrittweise verfeinert wird. Mit jedem Verfeinerungsschritt werden mehr Details berücksichtigt, wobei die anfängliche Grundstruktur inhaltlich nicht verändert werden darf.
2. Die Methode der schrittweisen Abstrahierung (Bottom-Up-Entwurf), bei der ausgehend von den kleinsten Strukturmerkmalen (Attributen) während des Entwurfsprozesses Objekte gruppiert und somit höhere Datenbankebenen modelliert werden.

Die Abb. 7 verdeutlicht anhand eines einfachen Beispiels, wie sich aus einer Reihe von zunächst ungeordneten Informationen über die beiden Prozesse "Spezialisierung" und "Generalisierung" relationale Schemata herausbilden lassen. Die Informationen können mit Hilfe des Bottom-Up-Vorgehens zum größten Teil zum Objekttyp "GELÄNDE" zusammengefaßt werden. Lediglich die Bodendaten bedürfen einer Aufschlüsselung, d.h. des Übergangs zum Top-Down-Vorgehen. Hier findet eine "Spezialisierung" statt, die vorläufig nur zu weiteren Oberbegriffen führt. Eine Ausscheidung von weiteren Detailinformationen wäre in diesem Fall notwendig.

Für den Entwurf einer Datenbank gilt ganz allgemein, daß nur in Ausnahmefällen streng nach einer der beiden Theorien vorgegangen werden kann, da sich ansonsten bei der in der Regel zu verarbeitenden Informationsvielfalt nur bedingt ein logischer Aufbau erreichen läßt.

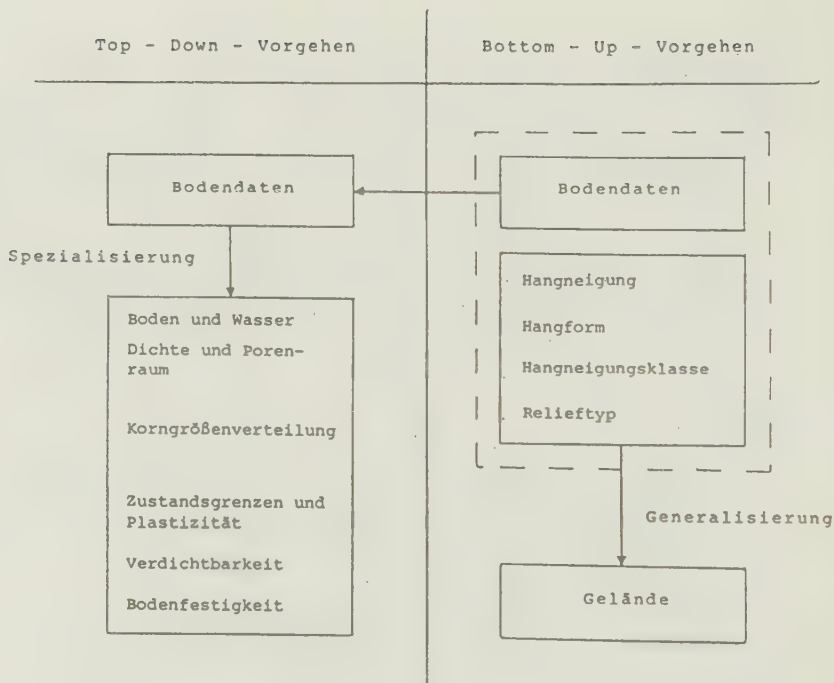


Abb.7: Spezialisierung/Generalisierung im Rahmen des Entwurfsprozesses (im Anhalt an REBSAMEN, 1983)

Für die Geländedatenbank als Sonderfall einer Datenbank wurde bereits während der Ermittlung des Informationsbedarfs zumindest ansatzweise eine "Spezialisierung" durchgeführt. Ausgehend von der Beschreibung der Informationsbereiche wurden Einzelinformationen ausgeschieden. Für die weitere Datenbankgestaltung ergibt sich daraus eine Ausgangssituation, in der, nachdem die Voraussetzungen für ein Bottom-Up-Vorgehen nahezu vorliegen, überwiegend "generalisiert" werden muß. Verfeinerungsarbeiten nach der Top-Down-Regel bleiben jedoch insbesondere bei den Bodendaten nicht aus.

Die sorgfältige Auswahl von Objekt- und Assoziationstypen und dazugehörigen Attributen garantiert eine logische Struktur der Datenbank. Nur wenn diese Maßgabe erfüllt wird, ist weitgehend gesichert, daß unerwünschte Effekte, wie etwa falsche Dateiinhalte, bei einer nachträglichen Veränderung von Einzelinformationen vermieden werden. Als typisches Beispiel hierzu sei angeführt, daß die tatsächlich gemessenen Hangneigungen und die Hangneigungsklassen unbedingt dem gleichen Objekttyp angehören müssen. Ansonsten ist auf Grund der streng funktionalen Abhängigkeit nicht zu gewährleisten, daß sich nach der Eingabe von neuen Hangneigungen die Hangneigungsklassen automatisch ändern.

2.5.2 Die Ausscheidung von Objekt- und Assoziationstypen mit Attributen

Im Rahmen der Beschreibung des Informationsbedarfs hat sich gezeigt, daß im wesentlichen flächen- und stichprobenbezogene Daten - die Sekundärdaten lassen sich ebenfalls diesen Kategorien zuordnen - gespeichert werden sollen. Wie bereits angedeutet, wirkt sich dieser Unterschied auf die Datenbankgestaltung aus. Es empfiehlt sich daher, diese Zweiteilung für die Differenzierung in Objekte und Assoziationen mit dazugehörigen Attributen beizubehalten. Damit wird auch festgelegt, in welcher Form die spätere Dateneingabe und -ausgabe zu erfolgen hat.

Tabelle 5 weist die Objekttypen mit Attributen bei flächenbezogenen Informationen aus. In den Spalten 2 und 4 werden Kurzbezeichnungen für die Aufnahme in die Datenbank vorgeschlagen.

Bei den Objekttypen zu den stichprobenbezogenen Daten wurde die Aufteilung in die drei Blöcke Geländedaten i.e.S. (Tabelle 6), Bodendaten (Tabelle 7) und Inventurdaten (Tabelle 8) beibehalten. Dies empfiehlt sich einerseits, um bei der späteren Dateneingabe

Tab. 5: Objekttypen mit Attributen bei flächenbezogenen Informationen

Objekt- typ	Kurzbe- zeichnung	Attribute	Kurzbe- zeichnung
1	2	3	4
Grenzen	GRENZE	Gebietsgrenze Parzellengrenzen Gebietsgröße	GEB_GRENZ PAR_GRENZ GEB_GROES
Kardinalzonen (positiv + negativ)	P_KARD	Anschlußpunkte Kehren Lagerplätze Grabenübergänge Wegbaumaterial sonstige Einrichtungen	ANSCH_P KEHRE LAGER_PL GRAB_UEBER WEG_MAT EINRICHT
	N_KARD	Quellgebiete rutsch- u. erosionsgefährdete Bereiche Fremdbesitz einsehbare Zonen	QUELL_GEB EROSION FREMD_BES EINSEH_Z
Topographie (Höhenflurkarte)	2_TOPO_K	Schichtlinien Gräben Bringungsgrenzen	SCHICHT_K GRABEN_K BRINGGR_K
Topographie (Luftbild)	2_TOPO_L	Schichtlinien Gräben Bringungsgrenzen	SCHICHT_L GRABEN_L BRINGGR_L
Topographie (terrestrische Aufnahme)	2_TOPO_G	Schichtlinien Gräben Bringungsgrenzen	SCHICHT_G GRABEN_G BRINGGR_G
Erschließung	ERSCHL	Äußere Erschließung Innere Erschließung Hauptfahrwege Rückeweg I Rückeweg II	ERSCHL_A ERSCHL_J HFW RW_I RW_II
Besitzverhältnisse	BES_VERH	selbständige Informationssysteme	
Standörtliche Situation	STANDORT		
Ökologische Situation	ÖKO_SIT		

Tab. 6: Objekttypen mit Attributen bei stichprobenbezogenen Geländedaten

Objekttyp	Kurzbezeichnung	Attribute	Maßeinheit	Kurzbezeichnung
1	2	3	4	5
Stichprobenpunkt	ST_PKT	x-Koordinate y-Koordinate z-Koordinate (Gelände) (Karte) (Luftbild) Gauß-Krüger (Rechtswert) Gauß-Krüger (Hochwert)	Code Code m m m m m	X_KOORD Y_KOORD Z_KOORD_G Z_KOORD_K Z_KOORD_L GK_HOCH GK_RECHTS
Gelände	GELÄNDE	Hangneigung 1 (oberhalb) Azimuth 1 Hangneigung 2 (unterhalb) Azimuth 2 Hangform: regelmäßig (1) gewellt (2) terrassiert (3) konkav (4) konvex (5) Hangneigungsklasse Relieftyp Rauhigkeitsklasse	% Grad % Grad Code Code Code Code Code Code Code Code	HANG_N1 AZIM_1 HANG_N2 AZIM_2 HANG_F1 2 3 4 5 HANG_KL REL_TYP RAUH_KL

Tab. 7: Objekttypen mit Attributen bei stichprobenbezogenen Inventurdaten

Objekttyp	Kurzbezeichnung	Attribute	Maßeinheit	Kurzbezeichnung
1	2	3	4	5
Stichprobenpunkt	ST_PKT	x-Koordinate y-Koordinate z-Koordinate Gauß-Krüger (Rechtswert) Gauß-Krüger (Hochwert)	Code Code m m m	X_KOORD Y_KOORD Z_KOORD GK_HOCH GK_RECHTS
Baumart 1-4		Flächenanteil 1-4 Alter 1-4 Ertragsklasse 1-4 Grundfläche 1-4 lfd. Zuwachs 1-4 Vorrat 1-4	% J m²/ha m²/J u.ha m³/ha	ANT (1-4) ALTER (1-4) E_KL GR_FL (1-4) LGZ (1-4) VORRAT (1-4)
sonstige Daten	SONST_DAT	Bestockungsgrad Nutzungsart Hiebsatz	Code m³/J u.ha	BG NA HIEB_S

Tab. 8: Objekttypen mit Attributen bei stichprobenbezogenen Bodendaten (vgl. auch DIETZ et al., 1984, S. 51)

Objekttyp	Kurzbezeichnung	Attribute	Maßeinheit	Kurzbezeichnung
1	2	3	4	5
Stichprobenpunkt	ST_PKT	x-Koordinate y-Koordinate z-Koordinate Gauß-Krüger (Rechtswert) Gauß-Krüger (Hochwert) Lage: Ebene (1) Oberhang (2) Mittelhang (3) Unterhang (4)	Code Code m m m Code Code Code Code	X_KOORD Y_KOORD Z_KOORD GK_HOCH GK_RECHTS LAGE 1 2 3 4
Aufnahmedatum	DATUM	Jahr Monat Tag		JAHR MON TAG
Boden und Wasser	BO_WA	Bodenart (DIN) Bodenart (alpha-numerisch) Anteil an org. Material Durchwurzelung natürlicher Wassergehalt (3 Tiefenstufen, 1-3) Durchlässigkeitsbeiwert	Code % % % cm/s	BOD_DIN BOD_AN ORG_MAT WURZEL WASSER_N DURCH_BEI
Dichte und Porenraum	DI_PO	Korndichte Trockenraumgewicht (3 Tiefenstufen, 1-3) Porenanteil Luftporenanteil Sättigungsgrad	g/cm ³ g/cm ³ % % %	KORN_D TROCK_GEW POREN POREN_L SAETT
Korngrößenverteilung	KORN_V	Tonanteil Anteil: Feinsand Mittelsand Grobsand Feinkies Mittelkies Grobkies > 60 mm Ungleichkörnigkeitsgrad Krümmung	% % % % % % % % %	TON F_SAND M_SAND G_SAND F_KIES M_KIES G_KIES 60_MM U_GRAD KRUEMM

Fortsetzung Tabelle 8

Objekttyp	Kurzbezeichnung	Attribute	Maßeinheit	Kurzbezeichnung
1	2	3	4	5
Zustandsgrenzen und Plastizität	ZUG_PLA	Fließgrenze	%	FL_GRENZ
		Ausrollgrenze	%	A_GRENZ
		Schrumpfgrenze	%	S_GRENZ
		Plastizitätsindex	%	PLAST_J
		Konsistenzindex	1	KON_J
		Liquiditätsindex	1	LIQ_J
		Tonaktivität	1	TON_AKT
Verdichtbarkeit	VERDICH	Verdichtungsarbeit	MNm/m ³	VERD_A
		Proctordichte	g/cm ³	PROCT_D
		optimaler Verdichtungswassergehalt	%	PROCT_W
		Verdichtungsgrad	%	VERD_G
Bodenfestigkeit	BO_FEST	E _{v1} -Wert	MN/m ²	EV_1
		E _{v2} -Wert	MN/m ²	EV_2
		CBR-Wert	%	CBR
		(3 Tiefenstufen, 1-3)		(1-3)
		Cone-Index (3 Tiefenstufen, 1-3)		CI (1-3)

die Übersichtlichkeit zu wahren. Andererseits lassen sich, wie bereits angedeutet, durch diese Strukturierung zu den genannten Datenkomplexen problemlos eigenständige Informationssysteme aufbauen. Diese können nachträglich auf Grund ihrer einheitlichen Grundstruktur ohne weiteres in eine umfassende Datenbank integriert werden.

Die vorläufige Ausscheidung eines eigenen Objekttyps "STICHPROBENPUNKT" wird deshalb vorgenommen, um aufzeigen zu können, wie die Lage eines Punktes charakterisiert wird. Letztlich dient dieser Objekttyp als Schlüsselattribut für alle nachfolgenden Objekttypen, d.h. die Geländemerkmale werden den x-, y-, (z-) Koordinaten zugeordnet. Die Rechts- und Hochwerte der Gauß-Krüger-Koordinaten werden ggf. während der Dateneingabe berechnet und ebenso wie die anderen Merkmale eines Punktes den x-, y-Koordinaten zugewiesen.

Der Grundkonzeption des Relationenmodells gemäß, repräsentieren Assoziationstypen stets eine Kombination aus eingegebenen Basisdaten. Da die Mehrzahl der datenbankinternen Operationen für stichprobenbezogene Daten zutreffen, ist es anzustreben, diese grundsätzlich auf Rasterebene vorzunehmen. Dies bedeutet jedoch, daß flächenbezogene Ausgangsinformationen, sollen sie in irgendeiner Form kombiniert werden, zuvor von flächenbezogenen in rasterpunktbezogene Informationen umzuwandeln sind. Der dafür erforderliche Transformationsalgorithmus gehört somit zu den unverzichtbaren Bestandteilen einer Geländedatenbank.

Als Konsequenz aus dem vorgesagten bleibt festzuhalten, daß es sich bei Assoziationstypen ausschließlich um stichprobenbezogene Informationen handelt. Diese sind in Tabelle 9 zusammengefaßt. Formale Unterschiede zwischen Objekt- und Assoziationstypen treten nicht auf.

Auf zwei Besonderheiten im Rahmen der Festlegung von Assoziationstypen sei noch hingewiesen.

1. Mit dem "Raumwiderstand", dessen Meßgröße die sogenannte "Raumwiderstandszahl" ist, soll zum Ausdruck gebracht werden, welcher Widerstand gegen den Wegebau nach der Aggregation entscheidungsrelevanter Faktoren, wie beispielsweise ökologischer und bautechnischer Aspekte, zu erwarten ist. Nach Maßgabe des Entscheidungsträgers können unterschiedliche Faktoren mit verschiedener Gewichtung zur Raumwiderstandszahl verknüpft werden. Auf die Auswahl dieser Faktoren wirken projektspezifische Anforderungen und Restriktionen und schließlich die Verfügbarkeit der Daten ein. Aus diesem Grund wird bei den Attributen zum Assoziationstyp "RAUMWIDERSTAND" vorläufig nur die mögliche Anzahl der Faktoren (mit Gewichten) angegeben. Daraus wird ersichtlich, daß es die Aggregationsregel (vgl. Abschnitt 2.6.3.3) zuläßt, 10 Faktoren mit unterschiedlicher Gewichtung einzubeziehen.

Tab. 9: Assoziationstypen mit Attributen bei stichprobenbezogenen Daten

Assoziationstyp	Kurzbezeichnung	Attribute	Maßeinheit	Kurzbezeichnung
1	2	3	4	5
Stichprobenpunkt	ST_PKT	x-Koordinate y-Koordinate z-Koordinate Gauß-Krüger (Rechtswert) Gauß-Krüger (Hochwert)	Code Code m m m	X_KOORD Y_KOORD Z_KOORD GK_HOCH GK_RECHTS
Bodenklasse	BODEN_KL	CBR-Wert CI-Wert Anteil: Ton Feinsand Mittelsand Grobsand Feinkies Mittelkies Grobkies > 60 mm Ungleichkörnigkeitsgrad Krümmung Fließgrenze Plastizitätsindex	% % % % % % % % % % % % %	CBR CI TON F_SAND M_SAND G_SAND F_KIES M_KIES G_KIES 60_MM U_GRAD KRUEMM FL_GRENZ PLAST_J
Geländeklasse	GEL_KL	Bodenklasse Rauigkeitsklasse Neigungsklasse	Code Code Code	BODEN_KL RAUH_KL HANG_KL
Befahrbarkeitsklasse	BEFAHR_KL	Bodenklasse Rauigkeitsklasse Neigungsklasse Schleppertyp	Code Code Code Code	BODEN_KL RAUH_KL HANG_KL SCHL_TYP
Dimensionierung der Tragschicht	DIM_IS	E _{v2} -Wert E _{v2} -Wert (nach Verdichtung) Material	MN/m ² MN/m ² Code	EV_2 EV_2_VERO MATERIAL
Rückentfernung	RE	Seilzug im Gelände auf Rückeweg 1 auf Rückeweg 2 auf Fahrweg	m m m m m	RE_S RE_G RE_RW1 RE_RW2 RE_FW

Fortsetzung Tabelle 9

Assoziations- typ	Kurzbe- zeichnung	Attribute	Maß- einheit	Kurzbe- zeichnung
1	2	3	4	5
"cost areas"	COST_AREA	Trassenaufhieb Erdbauarbeiten Entwässerung Befestigung Gemeinkosten	DM/fm DM/fm DM/fm DM/fm DM/fm	TR_AUF ERD_ARB ENTWAES BEFEST GEM_KOST
"Raumwiderstand"	RWS	Faktor 1-10 Gewicht 1-10		FAKTOR (1-10) GEW (1-10)
3-dimensionales Geländemodell	3_D_MODEL	x-Koordinate y-Koordinate z-Koordinate (Gelände) (Karte) (Luftbild)	Code Code m	X_KOORD Y_KOORD Z_KOORD_G _K _L

2. Zum 3-dimensionalen Geländemodell werden, unabhängig von den x-, y-Koordinaten der Stichprobenpunkte, eigene x-, y-, z-Koordinaten als Attribute ausgewiesen. Diese werden direkt bei der Generierung eines 3-D-Modells festgelegt. Da diesem, wie noch an anderer Stelle näher ausgeführt wird, die Rechtecksvermaschung zu Grunde liegt, ist für die Ermittlung der Koordinaten der frei wählbare Abstand zwischen den Rasterlinien entscheidend. Auf der Basis der jeweils berechneten Flächen- und Höhenkoordinaten kann das erfaßte Planungsgebiet mit Hilfe einer datenbankspezifischen Ausgaberoutine räumlich dargestellt werden. Über die Einbeziehung des Modells in Planungsaufgaben wird in Verbindung mit der entsprechenden Software berichtet.

Auf eine weitere Differenzierung der Objekt- und Assoziations-typen in einzelne Relationenschemata, d.h. die Erstellung von 2-dimensionalen Matrizen für jedes Objekt und Attribut (vgl. Tabelle 4), kann verzichtet werden, da die gewählte Tabellen-

form im gleichen Maße die Grundkonzeption des Relationenmodells widerspiegelt, jedoch dem Anwender auf Grund der thematischen Blockbildung ein besser nachvollziehbares Bild über die aufzunehmenden Geländeinformationen vermittelt.

Alle im weiteren beschriebenen Programmodule wurden in der Programmiersprache BASIC verfaßt.

2.6 ARCHITEKTUR EINER GELÄNDE- UND PLANUNGSDATENBANK

2.6.1 Forderungen an Soft- und Hardware

Wie bereits erwähnt, werden heute für Mikrocomputer fertige Datenbanksysteme auch relationaler Struktur angeboten. In der Regel bilden zumindest die für die vorhandene Rechnerausstattung (siehe Abb. 8) verfügbaren Datenbanken ein weitgehend in sich geschlossenes System, das nur mit Hilfe spezieller Software nachfolgenden Anwenderprogrammen zugänglich gemacht werden kann. Dies wird auch durch die von den Anbietern empfohlenen Einsatzmöglichkeiten wie etwa Adressenverwaltung, Fragebogenauswertungen, Bibliotheksanwendungen und ähnliches bestätigt.

Flexiblere Systeme, die sich der in zunehmenden Maße Bedeutung erlangenden relationalen Abfragesprache SQL (Structured Query Language) bedienen, erlauben zwar relativ problemlos einen in ein Anwenderprogramm integrierten Datenzugriff, sind jedoch bei der ausschließlichen Implementierung auf Mikrocomputern auf Grund ihrer Leistungsfähigkeit und der damit verbundenen hohen Anschaffungskosten fehl am Platz. Typische Repräsentanten dieser Sprachengeneration sind die für Großrechner entwickelten IBM - Datenbanken (SQL/DS und DB/2). Eine Version für Mikrocomputer wird derzeit unter dem Namen ORACLE angeboten, wobei auch hier die Möglichkeiten nur voll ausgeschöpft werden können, falls eine Speicherkapazität von > 40 MB oder eine Verbindung zu einem Großrechner mit kompatiblen Datenbanken vorhanden sind.

Ein weiterer Mangel vorhandener Datenbanksysteme ist darin zu sehen, daß es nicht möglich ist, zwei- oder dreidimensionale Pläne und Karten oder allgemein flächige oder räumliche Darstellungen als Gesamtbild abzulegen, sondern daß lediglich die Linienstrukturen in Form von x-, y-, (z-)Koordinaten gespeichert werden können. Für eine forstliche Gelände- und Planungsdatenbank, mit deren Hilfe Planungsaufgaben direkt am Bildschirm übernommen werden sollen, ist diese Möglichkeit unbefriedigend, da die Generierung einer Planungskarte auf dem Bildschirm einen relativ hohen Zeitaufwand erfordert. Anzustreben ist daher ein System, mit dessen Hilfe Planungskarten als "Ganzes", d.h. als Hardcopy vom Bildschirm, abgespeichert werden können. Diese lassen sich ohne großen Aufwand - etwa für die Überprüfung einer Linienführung bei der Wegeplanung - in kurzer Zeit nacheinander auf dem Bildschirm projizieren. Neben dieser Projektion auf dem Bildschirm ist selbstverständlich die maßstabsgerechte Wiedergabe von Planungskarten mit dem Plotter eine Grundvoraussetzung.

Die speziellen Wünsche an eine forstliche Gelände- und Planungsdatenbank führen zu folgendem Anforderungsprofil:

1. Die Aufnahme und das Ablegen flächiger und räumlicher Strukturen, d.h. zwei- und dreidimensionaler Planungskarten muß möglich sein.
2. Beim Aufbau sollte, soweit realisierbar, einer relationalen Struktur entsprochen werden.
3. Aus den eingegebenen Grunddaten sollten innerhalb des Datenbanksystems über verschiedene Zuordnungs-, Ableitungs- und Aggregationsregeln weitere Planungsdaten hergeleitet werden können.
4. Die Planungsunterlagen sollten möglichst großmaßstäblich (Maßstab 1 : 5000, 1 : 10000) wiedergegeben werden können.

5. Der direkte Zugriff mit Anwenderprogrammen muß gewährleistet sein.

Um diesen Forderungen gerecht werden zu können, müssen zunächst die Bedingungen, die an die Geräteausstattung (Hardware) zu stellen sind, definiert werden.

Abb. 8 vermittelt einen Überblick über die Gerätekonfiguration der benutzten institutseigenen EDV-Anlage, Serie 200, Typ 9817 der Fa. Hewlett Packard. Sie umfaßt folgende Bausteine:

- Zentraleinheit mit einer Arbeitsspeicherkapazität von 1 MB RAM,
- 1 Diskettenlaufwerk (270 KB) + 1 Festspeicherplatte (15 MB),
- Drucker mit der Möglichkeit zur Hardcopy,
- Digitizer (Digitalisiertablett),
- wahlweise DIN-A3- oder DIN-A1-Plotter.

Als Minimalausstattung sind eine Arbeitsspeicherkapazität von 512 KB RAM, ein Doppeldiskettenlaufwerk (je 512 KB) und als Peripheriegeräte ein hardcopyfähiger Drucker und ein Digitizer erforderlich. Auf den Plotter kann notfalls verzichtet werden, was jedoch dazu führt, daß sich der Planer später bei der Wiedergabe von Planungskarten mit den vom Drucker vorgegebenen Ausmaßen begnügen muß. Eine geringere Speicherkapazität als die vorgenannte erschwert vor allem die Abspeicher- und Einlesevorgänge, was letztendlich zu einem höheren Zeitaufwand für die verschiedenen Berechnungen führt.

Neben den Anforderungen, die an die Hardware zu stellen sind, verlangen die Differenzierung der Primärdaten in flächen- und stichprobenbezogene Informationen, der Wunsch nach einer systeminternen Datenmanipulation und die Variabilität der Ausgaberroutinen die nachfolgend beschriebene systematische Gestaltung der Datenbanksoftware.

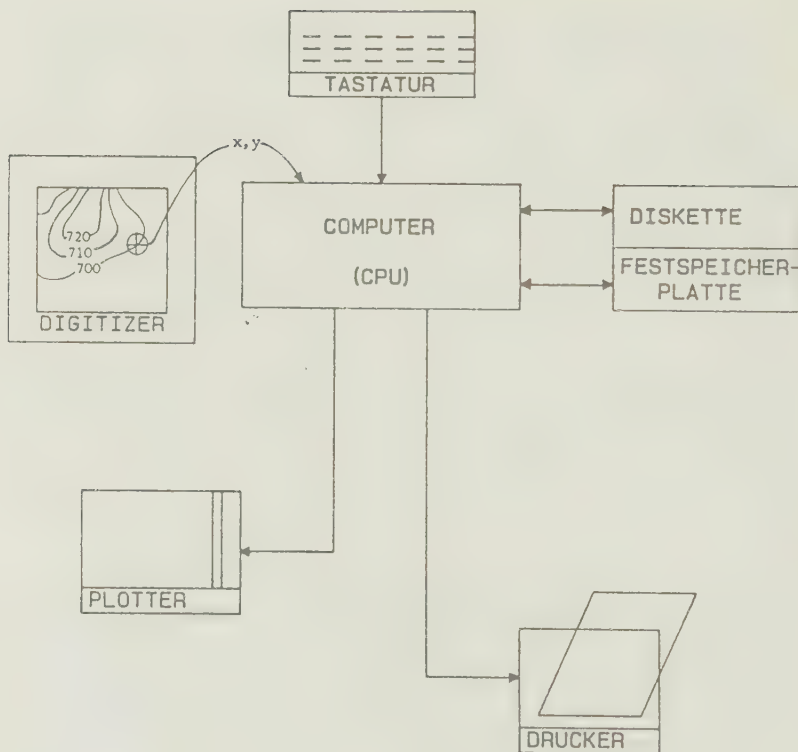


Abb.8: Geraetekonfiguration fuer die EDV-gestuetzte
Wegeplanung

Um eine benutzerfreundliche Konzeption zu erhalten, muß die Anwendung der verschiedenen Subroutinen im direkten Dialog mit dem Rechner über sogenannte Bildschirmmenues oder -masken gesteuert werden.

Was die Generierung dieser Menues anbelangt, läßt sich der Bildschirm des benutzten Rechners auf Grund seiner Display-Organisation in die drei Bereiche

- Ausgabebereich = Output Area,
- Display-Zeile = Display-Line,
- Benutzerfeld = User Area

unterteilen. Die räumliche Anordnung auf dem Bildschirm ist in Abb. 9 schematisch skizziert.

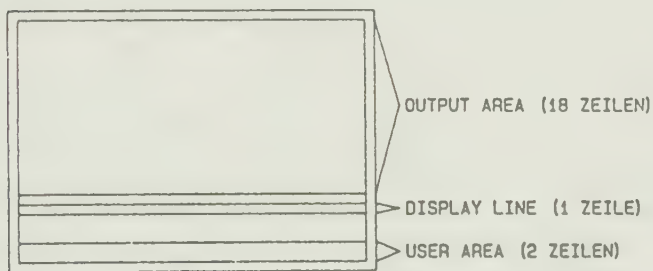


Abb.9: Display-Organisation fuer die Generierung von Bildschirm-Menues

Die verschiedenen Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Anwender und Rechner erlauben es, eine hierarchische Abfolge der Bildschirmmenues in drei Stufen vorzunehmen.

Für das Hauptmenue als übergeordnetes Befehlssystem ist die Anlage im USER-Feld zu empfehlen. Die einzelnen Elemente dieser Maske können über einfache Hilfsprogramme den sogenannten Soft-key-Tasten zugewiesen werden. Damit kann das gewünschte Unterprogramm über einen Tastendruck geladen werden.

Innerhalb der zweiten Stufe, zu der die Startmenues der einzelnen Unterprogramme gehören, bewährt es sich, die Bildschirmmasken im Output-Bereich anzusiedeln. Diese von den Hauptmenues grundsätzlich abweichende Struktur trägt zum einen wesentlich zu einer besseren Übersichtlichkeit bei, zum anderen kann jeweils der Befehlssatz für die Wahl der weiteren Subroutinen auf Grund der verfügbaren Zeilenlänge exakter beschrieben werden. Die gewünschte Option wird in der Regel über numerische Codes eingelesen. Daneben besteht die Möglichkeit, ggf. den Dialog über die Tastatur eines Peripheriegerätes, wie etwa den Digitizer, zu führen.

Die Display-Zeile dient innerhalb eines Programmlaufes als wertvolles Instrument, einzelne, für die weitere Operation benötigte Variable vorzugeben oder Alternativfragen entsprechend mit "JA" oder "NEIN" zu beantworten. Das jeweilige Programm wird zu diesem Zweck solange unterbrochen, bis der Anwender auf die Display-Abfrage reagiert.

Beispiele zu den drei Alternativen, im direkten Dialog mit dem Rechner zu arbeiten, werden nachfolgend beim Datenbankaufbau und in Kapitel 5 beim Programmentwurf zur Wegeprojektierung demonstriert.

So weist das Datenbankhauptmenue im USER-Feld, das über den Befehl "LOAD: DATENBANK" definiert wird, die in Abb. 10 darge-

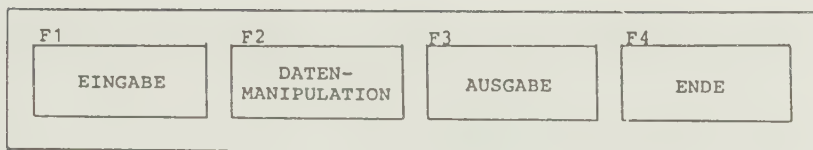


Abb.10: Datenbank-Hauptmenue

stellte Softkey-Belegung auf. Ausgehend von dieser groben Einteilung erfolgt die weitere Führung durch das Datenbanksystem in erster Linie über Masken im Output-Bereich des Bildschirms.

2.6.2 Die Dateneingabe

Mit dem Laden der Subroutine "EINGABE" wird auf dem Bildschirm das folgende Startmenue generiert:

EINGABE ÜBER DIGITIZER	1
EINGABE ÜBER TASTATUR	2
DATEN HINZUFÜGEN	3
DATEN VERÄNDERN (KORRIGIEREN)	4
DATEN LÖSCHEN	5
HAUPTMENUE	6

Kennzeichnend für das Eingabeprogramm ist die Unterscheidung in die Wahlmöglichkeiten,

- Daten über das Digitalisiergerät oder
- über die Tastatur zu erfassen.

Mit Option 1 wird ein Digitalisierprogramm geladen, mit dem über den Digitizer wahlweise flächenbezogene oder linienförmige Daten aufgenommen werden können.

Ein Eingangsmenue bietet zusätzlich die folgenden Wahlmöglichkeiten an:

EINGABE DIGITIZER + ABSPEICHERN	1
EINGABE + PLOTEN AUF DEM BILDSCHIRM + ABSPEICHERN	2
STARTMENUE	3

Als Vorbereitung für die Arbeit mit dem Digitizer müssen alle Kartenblätter, die für die Aufnahme in die Datenbank vorgesehene Informationen beinhalten, mit einem Koordinatensystem belegt werden. Um jeweils identische Ausgangsbedingungen zu schaffen, sollte die Abszisse der südlichen und die Ordinate der westlichen Kartenbegrenzung folgen.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß sich mit dieser "Normierung" ein zunächst gebietsspezifisches Koordinatensystem in ein übergeordnetes geodätisches Netz einhängen läßt. Wir entschieden uns für das Gauß-Krüger-Netz. Es müssen

lediglich für den Koordinatenursprung (= Karteneckpunkt im Südwesten) die dazugehörigen Gauß-Krüger-Koordinaten (mit Rechts- und Hochwert) vorgegeben werden. Die optionale Eingabe der Ursprungskoordinaten wurde, worauf noch hingewiesen wird, in die Routine zur Erfassung der stichprobenbezogenen Informationen implementiert. Auf diese Weise können direkt in Verbindung mit der Dateneingabe die Gauß-Krüger-Koordinaten für jeden Rasterpunkt ermittelt werden.

Für die sogenannte AXIS-ALIGN-Routine, ein hardwarebedingter Bedienungsvorgang, der für jeden Digitalisierprozeß durchzuführen ist, müssen zusätzlich auf der x-Achse jeweils zwei Punkte - in der Regel wählt man den Achsenursprung und einen weiteren Punkt, der etwa auf Höhe der östlichen Grenze des Planungsgebietes liegt - dauerhaft markiert werden. Damit kann gewährleistet werden, daß einerseits maßstabsgleiche Planungskarten überlagert und andererseits Planungsunterlagen ohne Einschränkung für EDV-gestützte Planungsaufgaben zugänglich gemacht werden können. Die entscheidenden Kennziffern, die innerhalb der weiteren Routinen der Datenbank immer wieder benötigt werden, sind die Koordinaten des Nullpunktes x_{DIG}/y_{DIG} . Sie werden daher in Verbindung mit der Digitalisiererroutine ausgedruckt.

Dem Anwender werden alle zu verrichtenden Teilarbeiten über das Dialogsystem vermittelt.

Vorab ergehen die Aufforderungen "PLOTTER - DIGITIZER - DRUCKER - EINSCHALTEN" und "KARTE ZUM DIGITALISIEREN VORBEREITEN". Mit der Bestätigung, daß alle vorbereitenden Maßnahmen durchgeführt wurden, erscheint auf dem Bildschirm die Anweisung für die AXIS-ALIGN-Routine, die wie folgt strukturiert ist:

1. TASTE "AXIS-ALIGN" AM DIGITIZER DRÜCKEN
2. ACHSENURSPRUNG DIGITALISIEREN
3. WEITEREN PUNKT AUF DER X-ACHSE DIGITALISIEREN
4. FUNKTIONSTASTE fc AM DIGITIZER BETÄTIGEN
5. VORLAGE DIGITALISIEREN
6. ABSPEICHERN = FUNKTIONSTASTE fa AM DIGITIZER
7. EINGANGSMENUE = FUNKTIONSTASTE fb AM DIGITIZER

Die Punkte 1-5 beinhalten den eigentlichen Digitalisiervorgang. Um bei den späteren Manipulationsprozessen mit einer ausreichenden Punktedichte arbeiten zu können, wurde für die Aufnahme der x-, y-Koordinaten der bei der verfügbaren Geräteausstattung mögliche Minimalabstand von 0,1 mm gewählt. Die Vorgabe einer z-Koordinate, die beispielsweise bei der Erfassung von Höhenschichtlinien aus einer topographischen Karte erforderlich ist, wird über die Tastatur des Digitizers bewerkstelligt.

Sollte anfangs zusätzlich die Darstellung auf dem Bildschirm gewählt worden sein, dann wird gleichzeitig die Linie, die mit der Digitizerlupe abgefahren wird, quasi zur Kontrolle auf dem Bildschirm mitgezeichnet. Um zu gewährleisten, daß eine Karte vollständig auf dem Bildschirm projiziert werden kann, ist gegebenenfalls vorab ein Faktor zur Reduzierung des Originalmaßstabes vorzugeben. Der Anwender wird über die Display-Anweisung "VERKLEINERUNGSFAKTOR EINGEBEN" daran erinnert.

Die Abspeicherroutine (Punkt 6) wird mit Hilfe der Funktions-
taste **[fa]** des Digitizers initialisiert. Der Dateiname kann,
wiederum über die Display-Zeile gesteuert, frei gewählt werden.
Es ist allerdings zu empfehlen, die Kurzbeschreibungen aus der
Datenzusammenstellung zu übernehmen. Abschließend wird der Aus-
druck "DATENBANK-FLÄCHENDATEN" mit Dateinamen und Anzahl der
Datensätze angefertigt.

Der Vollständigkeit halber wird mit der Belegung der Funktions-
taste **[fb]** des Digitizers die Möglichkeit offen gehalten, aus
dem laufenden Programm in das Eingangsменю zurückzukehren.

Als Besonderheit, die im Grund auch den Ableitungsregeln inner-
halb der Datenmanipulation zugeordnet werden könnte, wurde dem
Digitalisierprogramm direkt ein Längen- und Flächenberechnungs-
programm angeschlossen, das optional über eine entsprechende
Display-Abfrage geladen werden kann. Mit dieser Möglichkeit
kann sich der Anwender bereits unmittelbar nach den Digita-
lisierarbeiten hinreichende Informationen über die Flächen-
größe eines Planungsgebietes, falls erforderlich auch über Par-
zellengrößen und/oder die vorhandene Wegedichte verschaffen.
Über die Bildschirmmaske

LÄNGENBERECHNUNG	1
FLÄCHENBERECHNUNG	2
STARTMENUE	3

werden bei der Längenberechnung (Code 1) nach der Differenz-
bildung zwischen den Koordinatenwerten mit Hilfe des Satzes des

Pythagoras und bei der Flächenberechnung über die Flächenformel von ELLING (OSTERLOH, 1985)

$$\text{Fläche} = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad (1)$$

die gewünschten Resultate erzielt.

Mit dem Verzicht, Längen und Flächen zu ermitteln, wird zum Abschluß der Digitalisiererroutine das Startmenue neu geladen.

Mit Code 2 im Startmenue wird die Routine für die Eingabe numerischer Informationen über die Tastatur geladen. In dieser Phase des Datenbankaufbaus handelt es sich ausschließlich um Informationen, die im Rahmen von Stichprobenerhebungen im Gelände erfaßt wurden. Auf die Datenerhebung wird im Zusammenhang mit der Datenbankgestaltung für das Untersuchungsgebiet näher eingegangen.

Das Vorgehen bei der Aufnahme von Stichprobendaten in die Datenbank wird ausschließlich von Display-Anweisungen bestimmt. Mit der Abfolge

1. WELCHE INFORMATIONEN SOLLEN EINGEGEBEN WERDEN?
2. WIEVIELE VARIABLE UMFASST DIE DATEI?
3. WIE SOLLEN DIE VARIABLEN VON 1-N BEZEICHNET WERDEN?
4. WIEVIELE STICHPROBENPUNKTE SIND AUFZUNEHMEN?

können einerseits alle benötigten Parameter vom Dateinamen bis zum Umfang der Datei derart vorgegeben werden, daß die gewünschte Zuordnung zu den Stichprobenpunkten erfolgen kann. Andererseits

bleibt die Variabilität bei der Gestaltung der einzelnen Dateien uneingeschränkt erhalten. Die Bezeichnung der Dateien und Variablen sollte sich wiederum an den Kurzformen von Objekt- und Assoziationstypen und Attributen orientieren.

Im weiteren Ablauf werden im Display die x-Koordinaten, die y-Koordinaten und der Reihe nach die einzugebenden Variablen abgefragt. Zur Kontrolle wird jeweils der vollständige Datensatz auf dem Bildschirm wiederholt. Falsche Werte können auf diese Weise sofort korrigiert werden. Ebenso ist es jederzeit möglich, den Eingabevorgang mit dem Sprung in die Abspeicherroutine zu beenden und damit in das Startmenue zurückzukehren. Bevor die Eingaberoutine definitiv mit dem Ausdruck "DATENBANK-RASTERDATEN", der den Dateinamen und die Anzahl der Datensätze ausweist, beendet wird, kann der Anwender, falls gewünscht, die Gauß-Krüger-Koordinaten des Koordinatenursprungs und den Rasterabstand vorgeben. Nach deren Eingabe werden als neue Variablen die Gauß-Krüger-Koordinaten für jeden Rasterpunkt ermittelt und abgespeichert.

Im Startmenue werden neben den beiden Eingaberoutinen weitere Optionen angeboten, mit deren Unterstützung der vorhandene Datenbankinhalt erweitert, verändert oder reduziert werden kann. Mit diesen Hilfsroutinen soll, falls erforderlich, eine möglichst einfache und rasche Datenbankaktualisierung erreicht werden.

Über Code 3 können sowohl die flächengleichen als auch die stichprobenpunktbezogenen Informationen beliebig **ergänzt** werden. Typische Beispiele zu ersteren sind bei einem Höhenschichtlinienabstand von 10 m das Einfügen von 5 m-Linien und in Verbindung mit Stichprobenaufnahmen die Verdichtung von Rasterpunkten.

Der Dialog mit dem Rechner startet mit der Bildschirmmaske:

FLÄCHENGLEICHE DATEN ERGÄNZEN	1
STICHPROBENBEZOGENE DATEN HINZUFÜGEN	2
STARTMENUE	3

Mit Hilfe der ersten Alternative wird automatisch das bereits bekannte Digitalisierprogramm geladen. Die zusätzlich eingegebenen Informationen werden vorläufig unter einem neuen Dateinamen abgespeichert. Das Zusammenspielen der verschiedenen Datenblöcke erfolgt nach dem Einlesen der Urdatei mit einer Standardroutine.

Die Ergänzung von rasterpunktbezogenen Informationen (Code 2) verlangt zunächst, daß die betreffende Datei vom Speichermedium eingelesen wird. In der Display-Zeile werden der Dateiname und die bisherige Anzahl der Rasterpunkte und Variablen abgefragt. Das Bildschirmmenue

DATENSÄTZE HINZUFÜGEN	1
VARIABLE HINZUFÜGEN	2
EINGANGSMENUE	3

weist anschließend den Anwender auf die verfügbaren Subroutinen hin.

Für die Eingabe weiterer kompletter Datensätze verlangt der Rechner wiederum deren genaue Anzahl.

Zusätzliche Variable betreffend, muß sowohl die Anzahl als auch jeweils deren Namen, ebenfalls im Dialog mit dem Display, vorgegeben werden.

Die Antwort "JA" auf die Frage, ob abgespeichert werden soll, beendet das Programm wiederum mit dem Ausdruck "DATENBANK - RASTERDATEN", der den Dateinamen und die Anzahl der Datensätze dokumentiert.

Da für die Veränderung oder nachträgliche Korrektur von digitalisierten Daten die jeweilige Datei komplett gelöscht und neu erstellt werden muß, betrifft die Subroutine unter Code 4 (Startmenue) für die **Datenkorrektur** nur die stichprobenpunktbezogenen Informationen.

Der erste Schritt läuft analog zu der zuvor erläuterten Datenergänzung ab, d.h. die Datei, in der Einzelwerte zu korrigieren sind, muß geladen werden.

Der Rechner fragt nacheinander über das Display die x-, y-Koordinaten des Datensatzes und die darin zu verbessernden Variablen ab. Der falsche Wert wird auf dem Bildschirm projiziert und der Anwender wird aufgefordert, den richtigen Wert einzugeben. Dieser wird dann zur Bestätigung ebenfalls auf dem Bildschirm wiederholt. Anschließend erscheint das obligatorische Angebot, direkt in die Abspeicherroutine zu gehen, die nach dem schon mehrfach beschriebenen Schema abläuft.

Option 5 des Startmenues soll es dem Anwender auch ohne Detailkenntnisse zur Tastaturbelegung erlauben, beliebige Datenbankauszüge, ggf. beschränkt auf einzelne Variable, zu löschen. Diese Routine könnte beispielsweise nach der Aggregation einzelner Planungsparameter von Interesse sein, um Speicherplatz,

der nicht mehr benötigt wird, freizusetzen. Grundsätzlich muß auch hier zuerst die betreffende Datei in den Arbeitsspeicher eingelesen werden. Über das Bildschirmmenue

DATEI LÖSCHEN	1
DATENSATZ LÖSCHEN	2
VARIABLE LÖSCHEN	3
STARTMENUE	4

kann festgelegt werden, ob und wie weit die Informationen selektiv zu eliminieren sind.

In digitalisierter Form gespeicherte Datenbankinhalte können nur als Gesamtdatei gelöscht werden. Dagegen kann bei den stichprobenbezogenen Daten die obige Aufgliederung genutzt werden. Der Dialog wird über das Display geführt, indem nach der Vorgabe des Dateinamens entweder nur die Koordinaten des Datensatzes oder zusätzlich die nicht mehr erforderlichen Variablen abgefragt werden.

Zusammen mit der abschließenden Speicherroutine wird automatisch das Startmenue generiert, über das auch der Weg zurück ins Hauptmenue führt.

2.6.3 Die Datenmanipulation

Die Datenmanipulation innerhalb dieses Datenbankkonzepts subsumiert Rechenregeln, mit deren Hilfe über die Aggregation, die Kombination, die Zuordnung und die Ableitung aus den Primärdaten

weitere Planungsparameter abgeleitet werden können. Dieses Vorgehen weicht von der sogenannten Relationenalgebra (CODD, 1972) ab. Deren Zweck ist es, Mengenoperationen zwischen Relationen zu standardisieren oder Ableitungsregeln für funktionale Abhängigkeiten innerhalb einer Relation zu definieren, quasi zur Überprüfung, ob die zuvor ausgeschiedenen Relationen logisch strukturiert sind.

Aufgrund der zahlreichen, oft nur für eine bestimmte Planungsaufgabe relevanten Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen den Basisinformationen, werden im Rahmen der vorliegenden Arbeiten nur die methodischen Ansätze im Detail behandelt, die für den Aufbau einer Datenbank für das Untersuchungsgebiet von Bedeutung sind. Allerdings wurde dieser Datenbankkomplex so offen gestaltet, daß bei Bedarf weitere Verknüpfungsregeln implementiert werden können.

Das Startmenue gliedert sich in die Alternativen:

ZUORDNUNG	1
AGGREGATION (KOMBINATION)	2
ABLEITUNG	3
HAUPTMENUE	4

2.6.3.1 Die Zuordnungsregeln

Die Zuordnungsregeln umfassen folgende, in einem Eingangsменue aufgelistete Unterprogramme:

UMWANDLUNG FLÄCHENGLEICHER IN RASTERBEZOGENE INFORMATIONEN	1
BODENKLASSEN	2
GELÄNDEKLASSEN	3
BEFAHRBARKEITSKLASSEN	4
RÜCKEENTFERNUNGEN	5
STARTMENUE	6

Ein grundlegender Algorithmus ist die Transformation von flächengleichen in rasterpunktbezogene Informationen (Code 1).

In einem ersten Schritt muß eine neutrale Rasterdatei aufgebaut werden. Dazu benötigt das Programm die über das Display abgefragten Kennziffern

- Digitizer-Koordinaten des Nullpunktes (x_{DIG}/y_{DIG}), die aus der Dateneingabe zur Verfügung stehen,
- Anzahl (N) der Rasterpunkte auf der x-Achse (identisch mit der Anzahl auf der y-Achse),
- Rasterabstand (RA),
- Maßstab der Planungskarte (M).

Mit den Formeln

$$x_i = x_{\text{DIG}} + i \cdot \frac{RA \cdot 40200}{M} \quad \text{für } i = 1 - N \quad (2)$$

$$y_i = y_{\text{DIG}} + j \cdot \frac{RA \cdot 40200}{M} \quad \text{für } j = 1 - N \quad (3)$$

werden die Koordinaten der einzelnen Rasterpunkte ermittelt. Der Faktor 40200 steht für die Umrechnung in Digitizer-Einheiten.

Der zweite Schritt startet mit dem Einlesen der Datei mit den flächenscharfen Informationen - Dateiname und Anzahl der Datensätze werden im Display abgefragt - und einer Sortieroutine, die die x-Koordinaten und die dazugehörigen y-Koordinaten aufsteigend ordnet. Damit wird, wie auch aus Abb. 11 hervorgeht, die Voraussetzung geschaffen, durch einen einfachen Vergleich der x-Koordinaten aus der Rasterdatei mit dem kleinsten x-Wert aus der Flächendatei die x-Rasterlinie zu lokalisieren, die als erste die betreffende Fläche durchschneidet. Die auf dieser Rasterlinie maßgeblichen y-Grenzpunkte können ebenfalls durch eine Abfrageroutine ermittelt werden. Alle y-Werte und damit gleichzeitig die Rasterpunkte innerhalb des Grenzverlaufs sind zu erfassen.

Die gesamte Abfrageroutine ist solange zu wiederholen, bis festgestellt wird, daß die x-Werte des Rasters die maximale x-Koordinate der digitalisierten Daten übersteigen.

Zusätzlich wird, um die Rasterdatei kennzeichnen zu können, über das Display eine numerische Kennvariable abgefragt. Diese wird zusammen mit den aus der Transformation gewonnenen x-, y-Koordinaten in einer Rasterdatei abgespeichert. Die Codierung ist für weitere Manipulationen innerhalb der Datenbank (z.B. Signatur) von Bedeutung.

Auf drei Besonderheiten des Transformationsalgorithmus muß noch hingewiesen werden:

1. Infolge der groben Digitizer-Genauigkeit von $\pm 0,1$ mm mußte, um die y-Grenzkordinaten in jedem Fall bestimmen zu können, zu den maßgebenden x-Koordinaten der Rasterlinien ein Toleranzbereich von ± 15 Plottereinheiten hinzugegeben werden. In Abb. 11 ist dieser Bereich schraffiert hervorgehoben.

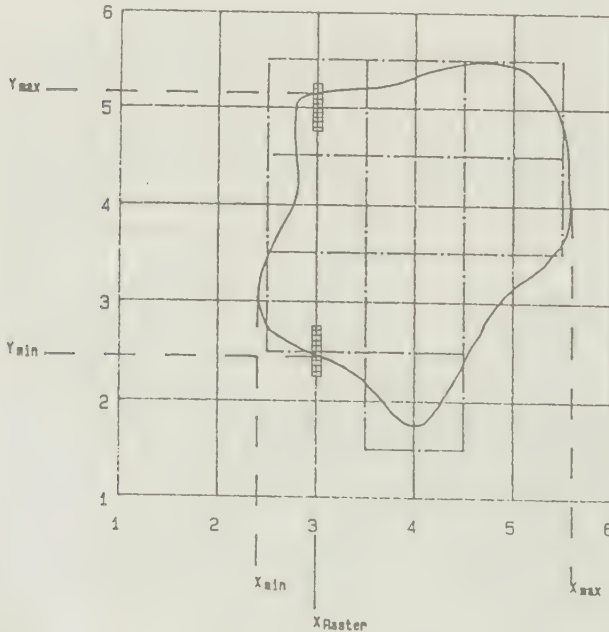


Abb.11: Transformation von flächengleichen in rasterpunktbezogene Informationen

2. Da der Rasterabstand variabel ist, kann die Rastergröße beliebig festgelegt werden.
3. Die Berechnung der Gauß-Krüger-Koordinaten wird wiederum als Option angeboten.

Die unter Code 2 definierte Herleitung von Bodenklassen konzentriert sich auf die in der Praxis meist auftretende Situation, daß detaillierte bodenphysikalische und bodenmechanische Laboruntersuchungen nicht zur Verfügung stehen.

Der Algorithmus sieht daher nur die Zuordnung von den anlässlich von Feldaufnahmen an den Stichprobenpunkten mit dem Handpenetrometer leicht zu erhebenden CBR- und/oder CI-Werten zu Bodenklassen vor. LÖFFLER et al. (1985) schlagen folgende Definition vor:

	CBR ca. %
1 = sehr hohe Festigkeit	> 5
2 = hohe Festigkeit	3 - < 5
3 = mittlere Festigkeit	2 - < 3
4 = geringe Festigkeit	1 - < 2
5 = sehr geringe bis fehlende Festigkeit	< 1

Das Programm verlangt im Display die Datei mit den CBR- und/oder CI-Werten und die Vorgabe des Dateinamens (Kurzbeschreibung) unter dem die Bodenklassen abgespeichert werden sollen. Mit dem Ausdruck "DATENBANK-ABGELEITETE DATEN" mit Dateinamen und Anzahl der Datensätze wird der Vorgang abgeschlossen und das Eingangsменue generiert.

Die Herleitung der Geländeklassen (Code 3) stützt sich auf einen Vorschlag, der im Auftrag des Joint FAO/ECE/ILO-Committee (LÖFFLER,

1984) erarbeitet wurde. Im Rahmen der hier in Frage kommenden sog. Mikroklassifikation, mit deren Hilfe die Geländeausprägung kleinerer Flächen möglichst exakt charakterisiert werden soll, wird das Gelände auf Grund der Merkmale

- Bodenverhältnisse,
- Rauzigkeit (Mikrotopographie) und
- Hangneigungsverhältnisse

klassifiziert.

Die Bodenklasse steht aus der zuvor beschriebenen Routine zur Verfügung. Die beiden anderen Merkmale werden ebenfalls in 5, respektive 6 Klassen unterteilt, wobei die Rauzigkeit direkt bei den Feldaufnahmen nach den in Tabelle 10 zusammengestellten Merkmalen beurteilt wird und für die Hangneigungen nach einer einfachen Zuordnungsregel die folgenden Klassen gebildet werden (LÖFFLER et al., 1985):

Klasse 1 = 0 ... < 10 %,
Klasse 2 = 10 ... < 20 %,
Klasse 3 = 20 ... < 33 %,
Klasse 4 = 33 ... < 50 %,
Klasse 5 = 50 ... < 70 %,
Klasse 6 = 70 % und darüber.

Die sog. deskriptive Geländeklasse setzt sich aus den drei Klassenziffern in der Reihenfolge Bodenverhältnisse - Rauzigkeit - Hangneigungsverhältnisse zusammen.

Innerhalb des Programmlaufs sind die Dateien mit den Bodenklassen, der Rauzigkeitsklassifizierung und den tatsächlich gemessenen Hangneigungen nach den entsprechenden Display-Abfragen einzulesen. Sollten während der Feldaufnahmen pro Stichprobenpunkt 2 Hangneigungen (oberhalb - unterhalb) aufgenommen worden sein, wird derzeit im Rahmen des Klassifizierungsprozesses das arith-

metische Mittel aus den beiden Werten herangezogen. Eine Erweiterung des Algorithmus, um 2 Hangneigungen und ggf. zusätzlich die Hangform, wie sie die Ausscheidung der Objekttypen ausweist, berücksichtigen zu können, läßt sich jederzeit bewerkstelligen.

Tabelle 10: Klassifikation der Rauigkeit (Mikrotopographie)

Height class				Ground roughness class	
H20	H40	H60	H80+		
Infrequent ($<400-40$; $16 \rightarrow 5$)	Isolated (<40 ; >16 m)			1	Smooth
Moderately frequent ($4000-400$; $5-1,6$ m)	No other classes represented				
Frequent (>4000 ; $<1,6$ m)	Infrequent ($<400-40$; $16 \rightarrow 5$)	Isolated (<40 ; >16 m)		2	Slightly uneven
	No other classes represented				
Moderately frequent ($4000-400$; $5-1,6$ m)	Moderately frequent ($4000-400$; $5-1,6$ m)	Infrequent ($<400-40$; $16 \rightarrow 5$)	Isolated (<40 ; >16 m)	3	Uneven
	No other classes represented				
Moderately frequent ($4000-400$; $5-1,6$ m)	Moderately frequent ($4000-400$; $5-1,6$)	Moderately frequent ($4000-400$; $5-1,6$)	Infrequent ($<400-40$; $16 \rightarrow 5$)	4	Rough
Frequent (>4000 ; $<1,6$ m)	Frequent (>4000 ; $<1,6$ m)	Infrequent ($<400-40$; $16 \rightarrow 5$)	Infrequent ($<400-40$; $16 \rightarrow 5$)		
All surfaces with ground roughness more difficult than that of class 4				5	Very rough

Das Programm wird wiederum abgeschlossen mit dem Ausdruck "DATEN-BANK-ABGELEITETE DATEN", der die bekannten Parameter beinhaltet, und dem Sprung zurück ins Eingangsmenu.

Neben der deskriptiven Geländeklassifikation interessiert bei aktuellen Planungsaufgaben eine funktionale Klassifizierung. Für die Erschließungsplanung sind Kenntnisse über die Befahrbarkeit des Geländes eine wertvolle Planungshilfe. Diese läßt sich unter Code 4 programmgesteuert aus der primären Geländeklassifikation ableiten. Zu diesem Zweck wurden die in Tabelle 11 zusammengestellten Zuordnungsregeln definiert (vgl. LÖFFLER et al., 1985), die es gestatten, die Befahrbarkeit nach Maßgabe der Geländeklasse und des Transportmittels herzuleiten.

Der ausschließlich über Abfrageroutinen geregelte Zuordnungsalgorithmus benötigt als Vorgabe die vorab erstellte Datei mit der deskriptiven Geländeklassifikation und zum Abschluß den Dateinamen, unter dem die neuen Informationen abgespeichert werden sollen. Wie üblich wird im Display abgefragt. Ebenso werden Dateiname und Anzahl der Datensätze automatisch dokumentiert und das Eingangsmenu geladen.

Unter Option 5 des Eingangsmenus können für jeden einzelnen Stichprobenpunkt die Rückeentfernungen programmiert ermittelt werden. Aus diesen Informationen erhält der Planer Hinweise auf die Erschließungsdringlichkeit und auf wünschenswerte Linienführungen.

Das Programm sieht vor, daß im Anhalt an die Punkt-Raster-Methode nach von SEGEBADEN (DIETZ et al., 1984) der Transportweg von einem Stichprobenpunkt zum Fahrweg oder Lagerplatz mit dem Cursor des Digitizers nachvollzogen wird. Über eine Codierung, wie sie Tabelle 12 ausweist (vgl. LÖFFLER et al., 1985), läßt sich der Transportweg nach Rückeverfahren und Rückebedingungen unterteilen. Es bereitet keinerlei Probleme, die Codierung, die derzeit

Tabelle 11: Zuordnung der Geländeklassen zu Befahrbarkeitsklassen
(rasterweise, unabhängig von Erschließung)

B e f a h r b a r k e i t		Gelände- faktor	G e l ä n d e k l a s s e		
Klasse	Definition		landw.1) Rad- schlepper	Knick- schlepper	Raupen- schlepper
1	2	3	4	5	6
10	Gelände nach Jahreszeit und Fahrtrichtung ohne Einschränkung befahrbar	Boden	1,2	1,2	1,2,3
		Rauhigk.	1,2	1,2,3	1,2,3
		Neigung	1,2	1,2,3	1,2,3
20	Gelände nach Jahreszeit und Fahrtrichtung nur eingeschränkt befahrbar				
21	wegen Bodentragfähigkeit 2)	Boden	3,4	3,4	4
22	wegen Rauhigkeit 3)	Rauhigk.	3	4	4
23	wegen Hangneigung 3)	Neigung	3	4	4
30	Gelände mit bodengebundenen Fahrzeugen nicht befahrbar				
31	wegen Bodentragfähigkeit 4)	Boden	5	5	5
32	wegen Rauhigkeit	Rauhigk.	4,5	5	5
33	wegen Hangneigung	Neigung	4,5	5	5

Anmerkungen:

- 1) mit normaler Bereifung (Innendruck > 1 atu)
- 2) Einschränkung nach Jahreszeit bedingt durch Bodenverhältnisse = nur bei Trockenheit oder bei Frost befahrbar
- 3) Einschränkung nach Fahrtrichtung bedingt durch Hangneigung und/oder Rauhigkeit = nur in Fallinie oder nur unter Umfahrung von Hindernissen (= nennenswerte Umwege)
- 4) bei anhaltend strengem Frost bedingt befahrbar
- 5) Wenn mehrere Restriktionen gleichzeitig:
 - 21 dominiert 22 und 23, 23 dominiert 22. Somit: 21 > 23 > 22.
 - 33 dominiert 31 und 32, 31 dominiert 32. Somit: 33 > 31 > 32.

Tabelle 12: Rückeverfahren und Befahrbarkeit (abgestellt auf landwirtschaftlichen Schlepper mit Forstausrüstung)

R ü c k e v e r f a h r e n u n d R ü c k e b e d i n g u n g e n	Code	anzuwenden bei Befahrbarkeits- klasse
Schlepperfahrt im Gelände (direkter Zug) ohne Einschränkung	10	10
Einschränkung durch Boden (nur bei Trockenheit oder Frost befahrbar)	11	21
Einschränkung durch Hindernisse bzw. Rauhigkeit der Oberfläche (Umwege)	12	22
Einschränkung durch Hangneigung (Fahrt nur in Falllinie und Lastfahrt nur bergab)	13	23
Beizug mit Seilwinde des Schleppers (<50 m)	19	31,32,33
Schlepperfahrt auf Rückeweg der Katego- rie 1 (keine jahreszeitlichen und witterungsbedingten Einschränkungen)		
eben und bergab (ca. <10-15 %)	21	-
bergauf	22	-
sehr steil bergab (ca. >15-20 %)	23	-
Schlepperfahrt auf Rückeweg der Katego- rie 2 (sehr enge Kurvenradien, geringe Tragfähigkeit, nur bei Trockenheit oder Frost befahrbar)		
eben und bergab (ca. <10-15 %)	31	-
bergauf	32	-
sehr steil bergab (ca. >15-20 %)	33	-
Schlepperfahrt auf Fahrweg	41	-
Seilkranbringung (>100 m)		
bergab	51	31,32,33
bergauf	52	31,32,33
Treiben	71	23,33
Loite	72	23,33
Pferderückung (<100 m)	81	10,21,22,23,31

Anmerkungen:

- 1) Liegt ein Stichprobenpunkt <10 m zu einem Fahr- oder Rückeweg, dann ist i.d.R. Rückeverfahren 19 mit Entfernung 10 m anzunehmen
- 2) Am Ende eines Rückevorganges ist anzugeben
 - 1 = Rückung endet an bereits vorhandenem Fahrweg
 - 2 = Rückung endet an Anschlußpunkt (Lagerplatz)
 - 3 = Rückung endet an landwirtschaftlicher Fläche am Waldrand
 - 4 = Nicht bringbar (mit dem verfügbaren bzw. vorgegebenen Bringungskonzept kann Holz nicht gerückt werden)
 - 5 = Rückung endet an neuem (geplantem) Fahrweg

auf die Verhältnisse im Bauernwald abgestellt ist, in anderer Weise vorzunehmen.

Der Code ist jeweils zu Beginn eines Streckenabschnitts, für den bestimmte Merkmale zutreffen, über die Tastatur einzugeben. So muß beispielsweise bei "Schlepperfahrt auf Rückweg der Kategorie 1 (keine jahreszeitlichen und witterungsbedingten Einschränkungen), bergauf" nach der Aufforderung im Display Code 22 eingetippt werden.

Für die gesamte Transportstrecke vom Stichprobenpunkt zum Lagerplatz sind in der Regel mehrere Code-Nummern aneinanderzureihen.

Für den Abschluß eines Rückevorgangs ist anzugeben, wo dieser endet. Die Alternativen stehen unter den Anmerkungen zu Tabelle 12.

Die starke Differenzierung bei der Ermittlung der Rückeentfernungen geschieht im Hinblick auf die Bewertung von Erschließungsvarianten. LÖFFLER et al. (1985) konnten zeigen, daß sich auf diese Weise kardinal skalierte Zielerträge für mehrere Bewertungskriterien gewinnen lassen.

Für die Darstellung der Rückeentfernungen in einer Rasterkarte werden die Rückeentfernungen je Rückeart und Rückebedingungen für jeden Stichprobenpunkt aufsummiert. Einzel- und Summenwerte werden nach der Vorgabe des Dateinamens in einer Rasterdatei abgespeichert. Obligatorisch folgen wieder der Ausdruck "DATENBANK - ABGELEITETE DATEN" und die Rückkehr ins Eingangsменю

2.6.3.2 Die Ableitungsregeln

Mit den innerhalb dieses Datenbankkomplexes subsumierten Rechenregeln werden die Datenbankinformationen aufgebaut, die in erster Linie in Rahmen der Detailprojektierung von Waldwegen von Bedeutung sind. Das Eingangsменю bietet folgende Alternativen:

DIMENSIONIERUNG DER TRAGSCHICHT	1
COST AREAS	2
3-DIMENSIONALES GELÄNDEMODELL	3
STARTMENUE	4

Über Code 1 können stichprobenbezogene Informationen zur Dimensionierung der Tragschicht gewonnen werden.

Nachdem als Kennwert für die Bodentragfähigkeit, wie bereits erwähnt, vorläufig nur die mit dem Handpenetrometer ad hoc zu ermittelnden CBR-Werte zur Verfügung stehen, mußte eine Schätzhilfe, die auf diesen Parameter aufbaut, in die Datenbank integriert werden.

Eine einfache Formel zur Bestimmung der Dicke der Tragschicht in verdichtetem Zustand (DT) für die im Falle forstlicher Fahrwege relevante Bauklasse V (E_{v2} Fahrbahn = 80 MN/m²) bei Rundkorn mit der Abweichung von der idealen Sieblinie nutzt den stochastischen Zusammenhang

$$DT = 640 \cdot TP^{-0,93} \quad (\text{cm}), \quad (4)$$

wobei die Tragfähigkeit des Planums (TP) als E_{v2} -Wert in diese Berechnung mit einfließt.

FLOSS (1972) schlägt für die Beziehung CBR - E_{v1} folgende Gleichung vor, die bereits so umformuliert wurde, daß E_{v1} als die abhängige Variable auftritt:

$$\lg E_{v1} = \frac{1}{1,379} \cdot (\lg \text{CBR} + 2,209) \quad (5)$$

Da das Verhältnis E_{V2}/E_{V1} i.d.R. etwa 2... 2,3 beträgt, wird innerhalb dieser Subroutine aus Gründen der Vereinfachung E_{V2} mit dem Faktor 2,15 berechnet.

Für die Anwendung reicht es aus, die Datei mit den CBR-Werten vorzugeben. Die Tragschichtstärken pro Stichprobenpunkt werden mit Anfertigung des Ausdrucks "DATENBANK-ABGELEITETE DATEN" mit Dateinamen und Anzahl der Datensätze in einer neuen Rasterdatei abgespeichert.

Unter Option 2 des Eingangsmenues können, aufbauend auf der Ermittlung der Tragschichtstärken, sog. "cost areas" ausgewiesen werden. Da während des Aufbaus einer Geländedatenbank im allgemeinen noch keine Vorstellung über die Trassenführung existiert, bleiben für die Ausscheidung dieses Planungsinstruments nur der rasterweise zu ermittelnde spezifische Erdmassenabtrag (in cbm/lfm), der sich aus Regelquerschnitt, Böschungsverhältnissen und Hangneigung ergibt, und das benötigte Tragschichtmaterial (in cbm/lfm). Die weiteren Kostenfaktoren sind an einen konkreten Wegeverlauf gebunden.

Innerhalb des Programms wird der Erdmassenabtrag als Funktion der Hangneigungsklassen berechnet (vgl. Graphik "Erdmassen-Bewegung..." in den RES, 1982). Die entsprechende Datei muß eingelesen werden.

Zur Ermittlung der Kosten für die Erdmassenbewegung können nach den jeweiligen Display-Abfragen für das Gebiet repräsentative Leistungs- (cbm/Std.) und Kostensätze (DM/Std.) für verschiedene Maschinenausstattungen vorgegeben werden.

Die Kosten für das Tragschichtmaterial ergeben sich aus den Kosten/cbm, der Tragschichtstärke und der Straßenbreite.

Die beiden Kostenfaktoren werden addiert und den Stichproben-

punkten zugeordnet. Eine neue Datei, die wie üblich dokumentiert wird, kann angelegt werden.

Eine zentrale Rolle in Verbindung mit der EDV-gestützten Wegeprojektierung spielt die unter Code 3 subsumierte Generierung eines 3-dimensionalen Geländemodells. Allgemein wird darunter die Beschreibung der Geländeoberfläche mit Hilfe von x-, y-, z-Koordinaten an den Schnittpunkten eines regelmäßigen, über ein Planungsgebiet gelegten Gitternetzes verstanden.

Nachdem der Programmieraufwand für den Aufbau eines derartigen Modells außerordentlich groß ist, wurde zunächst getestet, ob vorhandene Modelle adaptiert werden konnten. Dabei schied der Ankauf von kommerziell angebotener Software auf Grund der hohen Anschaffungskosten bereits zu Beginn der Untersuchung aus. Ein von der Universität Seattle, USA, zur Verfügung gestelltes Programmpaket ließ sich, da einige wesentliche Subroutinen von den amerikanischen Kollegen nicht mehr rechtzeitig fertiggestellt werden konnten, im Rahmen der Arbeit nicht mehr nutzen. Weitere Quellen für ein am institutseigenen Mikrocomputer implementierbares Programm konnten nicht eröffnet werden. So blieb nur die Alternative, ein eigenes Modell aufzubauen.

Das Literaturstudium zeigte sehr schnell, daß die insbesondere aus Japan kommenden Vorschläge von SHIBA et al. (1981, 1982, 1983) und YAMAMOTO et al. (1981) und die heute für den klassischen Straßenbau verwendeten Geländemodelle - einen Überblick über die verschiedenen Modellansätze vermittelt NATZSCHKA (1983) - i.d.R. auf Großrechnern implementiert wurden und somit in ihrer ursprünglichen Form die Leistungsfähigkeit der verfügbaren EDV-Ausstattung bei weitem übersteigen. Jedoch gab die Beschreibung der Algorithmen Hinweise darauf, welche Lösungsansätze grundsätzlich Verwendung für den Aufbau 3-dimensionaler Geländemodelle finden.

Vom methodischen Aufbau her lassen sich die mathematischen Modelle folgenden 3 Kategorien zuordnen:

- der Rechtecksvermaschung,
- der Dreiecksvermaschung und
- der funktionalen Darstellung von Höhenlinien.

Maßgebend für die eigene Konzeption waren die Leistungsfähigkeit und die Peripherie des Rechners und die unbedingt zu erfüllende Forderung, die im Digitalen Geländemodell abgespeicherten Daten für nachfolgende Projektierungsaufgaben benutzen zu können. Unter Berücksichtigung dieser Vorgaben ließ sich ein auf der Rechtecksvermaschung basierendes Modell von BENNER et al. (1973), das ursprünglich ebenfalls für einen Großrechner konzipiert worden war, adaptieren.

Für die beiden anderen Modelltypen bot sich kein geeigneter Lösungsweg an.

Als Grundlage für den Aufbau des Rechteckmodells dienen digitalisierte Höhenschichtlinien, die im Regelfall während der Eingabe der flächengleichen Informationen in die Datenbank eingespeichert werden.

Die Generierung des 3-D-Modells unterteilt sich in 4 Subroutinen.

Schritt 1:

Im Rahmen einer Digitalisiererroutine wird der Anwender im Display zunächst aufgefordert,

- die Parameter Dateinamen der Höhendaten und Anzahl der Beobachtungen vorzugeben,
- die AXIS-ALIGN-Routine durchzuführen,

- in W-O-Richtung die Eckpunkte x , x_1 des Geländeausschnitts festzulegen (vgl. Abb. 12), für den ein Geländemodell aufgebaut werden soll,
- den Faktor für die Unterteilung des Abstandes $x - x_1$ in gleichmäßige Rasterlinienabstände (= Rasterelementweite) vorzugeben; es ist zu beachten, daß dieser Faktor den Wert 100 aufgrund der begrenzten Speicherkapazität nicht übersteigen darf, d.h. bei einem Abstand zwischen x und x_1 von beispielsweise 1000 m beträgt die Rasterelementweite mindestens 10 m.

In Abhängigkeit der vorgegebenen Werte werden über eine Abfrage-routine die Schnittpunkte der zur y-Achse parallel liegenden Rasterlinien mit den Höhenschichtlinien ermittelt. Auf Grund der relativ groben Digitiziergenauigkeit von $\pm 0,1$ mm mußte, um die Schnittpunkte in jedem Fall lokalisieren zu können, ähnlich wie bei der Transformation von flächengleichen in rasterpunktbezogene Informationen, zu den Werten der digitalisierten Punkte auf den Höhenschichtlinien ein Toleranzbereich von ± 15 Plottereinheiten zugeschlagen werden. Dieser Grenzwert wurde iterativ bestimmt.

Analog zum oben beschriebenen Vorgehen, muß für die Bestimmung der Schnittpunkte der zur x-Achse parallelen Gitterlinien die Begrenzung (y , y_1) des Geländeausschnitts in S-N-Richtung erfolgen. Da die Vermaschung quadratisch ist, bleibt der Abstand zwischen den Rasterpunkten konstant.

Jeweils in getrennten Dateien werden die x-Werte mit dazugehörigen y-Werten (Datei HÖH-DAT1) und beim zweiten Vorgang die y-Werte mit dazugehörigen x-Werte (Datei HÖH-DAT2) und in beiden Fällen die Höhen der geschnittenen Schichtlinien abgespeichert. Für spätere Verwendungszwecke wird die Rasterelementweite Q (in Meter) ausgedruckt.

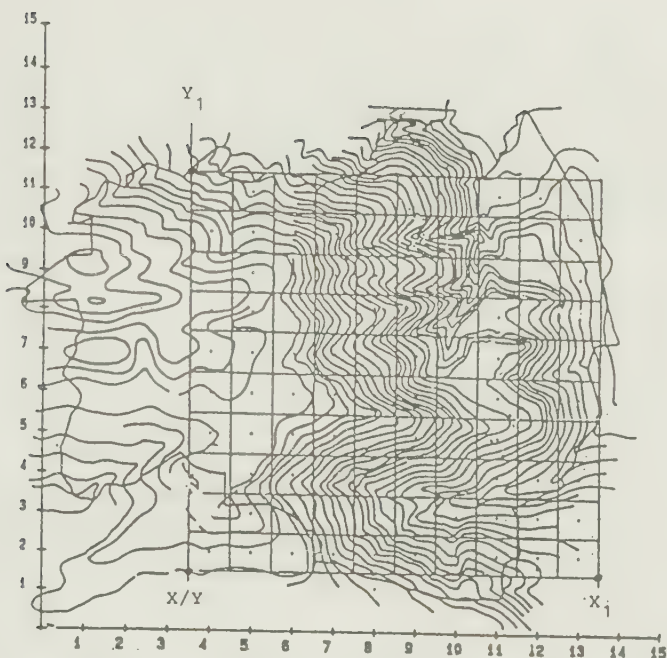


Abb.12: Rasterausschnitt fuer das Digitale Gelaendemodell

Schritt 2:

Die beiden zuvor abgespeicherten Dateien werden wieder in den Arbeitsspeicher eingelesen. In HÖH-DAT1 werden die x-Werte und in HÖH-DAT2 die y-Werte für die nachfolgenden Umspeicherroutinen aufsteigend sortiert. Ebenso werden im weiteren als Vorbereitung für den von BENNER et al. (1973) vorgeschlagenen Interpolationsalgorithmus für die Berechnung der Geländehöhen der Rasterpunkte in beiden Dateien die Abstände zwischen den Schnittpunkten der Gitterlinien (HR) und den nächst gelegenen Schnittpunkten Rasterlinie - Höhenschichtlinie (HS_i , für $i = 1-4$) in x- und y-Richtung berechnet. Abb. 13 verdeutlicht diesen Prozess.

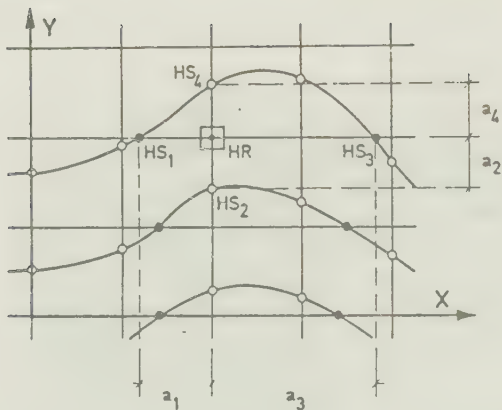


Abb.13: Digitales Gelaendemodell - Vorbereitung des Interpolationsalgorithmus (im Anhalt an Benner et al., 1973)

Zusätzlich wurde eine Plausibilitätskontrolle eingebaut, mit deren Unterstützung festgestellt werden kann, ob die Grenzpunkte des ausgesuchten Kartenausschnitts derart festgelegt wurden, daß innerhalb dieses Bereiches in jedem Fall Schnittpunkte zwischen Rasterlinien und Höhenschichtlinien festgestellt werden können.

Sollte dies nicht möglich sein, so werden vom Programm automatisch die neuen zulässigen Grenzwerte x , x_1 , und y , y_1 berechnet und ausgedruckt. Für Planungsaufgaben kann dann geprüft werden, ob der reduzierte Kartenausschnitt ausreicht.

Zum Abschluß dieser Subroutine werden neue Dateien - statt HÖH-DAT1 Y-ABST und statt HÖH-DAT2 X-ABST - angelegt, in denen die zusätzlich berechneten Variablen abgespeichert werden.

Schritt 3:

Diese Subroutine dient - ggf. nach der Vorgabe von neuen Grenzpunkten nach den entsprechenden Display-Abfragen - lediglich dazu, die Dateien Y-ABST und X-ABST zusammenzuspielen. Damit wird der Zugriff auf die Variablen, die für die Berechnung der Höhen der Rasterschnittpunkte erforderlich sind, erheblich vereinfacht.

Schritt 4:

Für den abschließenden Aufbau der Datei mit den Höhen der Rasterpunkte (3-D-MODELL) wurde zur linearen Interpolation zwischen den nächst gelegenen Schnittpunkten der Rasterlinien mit den Höhenschichtlinien (vgl. Abb. 12) die folgende von BENNER et al. (1973) vorgeschlagene Formel übernommen:

$$HR = \frac{HS_1/a_1 + HS_2/a_2 + HS_3/a_3 + HS_4/a_4}{1/a_1 + 1/a_2 + 1/a_3 + 1/a_4} \quad (6)$$

mit

HR : Höhe des Rasterpunktes

HS_i : Höhen der Höhenlinienschnittpunkte

a_i : Abstände der Schnittpunkte vom Rasterpunkt.

Der Benutzer erhält für seine Datendokumentation wiederum den Ausdruck mit Dateinamen und Anzahl der Datensätze. Das Eingangsmenue, mit der Möglichkeit ins Startmenue zurückzukehren, wird automatisch initialisiert.

2.6.3.3 Die Aggregation (Kombination)

Die Aggregationsregel dient dazu, verschiedene Planungsparameter aus der Datenbank mit unterschiedlicher Gewichtung zu einer komplexen Planungsgröße, die wir als Raumwiderstandszahl bezeichnen, zusammenzufassen. Voraussetzung hierfür ist, daß die zu verknüpfenden Faktoren nach einem einheitlichen System skaliert vorliegen. Im Anhalt an die Ausscheidung der Geländeklassen, innerhalb der die Merkmale Boden, Hangneigung und Rauigkeit in 5 (6) Klassen ausgedrückt werden, wurde als Wertskala eine fünfstufige Intervallskala gewählt. Die ungünstigste Ausprägung eines Merkmals bezogen auf den "Raumwiderstand" erhält grundsätzlich die Bewertungsstufe 5, die günstigste die Stufe 1. Damit wird die Bewertungsrichtung automatisch berücksichtigt. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, daß die in die Aggregationsroutine einfließenden Informationen bereits der erforderlichen Struktur entsprechen.

Zusätzlich können für die Aggregation die einzelnen Parameter unterschiedlich gewichtet werden. Bei einer Vorgabe von 100 Gewichtungspunkten und einer derzeitigen Beschränkung auf 10 Faktoren (Fak.) lautet der allgemeine Ansatz für die Verknüpfung zur Raumwiderstandszahl (RWZ):

$$RWZ = (Fak. 1 \times Gew. 1 + \dots + Fak. 10 \times Gew. 10) / 100 \quad (7)$$

Während des Programmlaufs werden nacheinander im Display die einzelnen Faktoren (mit Dateinamen und Anzahl der Datensätze) und die gewünschte Gewichtung abgefragt. Die neu berechnete Variable RWZ wird abgespeichert und es wird ein Ausdruck "DATENBANK-ABGELEITETE DATEN" angelegt mit Dateinamen, Anzahl der Datensätze und mit den eingebrachten Faktoren und deren Gewichtung.

Mit der Aggregation wird i.d.R. der Erst-Aufbau einer Datenbank abgeschlossen. Erweiterungen und Änderungen sind aber ohne weiteres möglich.

Über das automatisch generierte Startmenue kann in das Hauptmenue zurückgegangen werden.

2.6.4 Die Datenausgabe

Mit Hilfe des Programmpakets Datenausgabe können dem Anwender die Planungsunterlagen in vielfältiger Form zur Verfügung gestellt werden. Das Startmenue offeriert:

DARSTELLUNG AUF BILDSCHIRM	1
PLOTTEN AUF PLOTTER	2
HAUPTMENUE	3

Unter Option 1 wird die folgende Bildschirmmaske generiert:

FLÄCHENGLEICHE INFORMATIONEN-BILDSCHIRM	1
RASTERBEZOGENE INFORMATIONEN-BILDSCHIRM	2
GESAMTBILD VON DISKETTE	3
STARTMENUE	4

Für die Reproduktion flächengleicher Informationen auf dem Bildschirm (Code 1) dient ein einfaches Plotprogramm, das über alle Beobachtungen hinweg auf die abgespeicherten x-,y-Werte zurückgreift. Für die Signatur unterschiedlicher Merkmalsausprägungen, wie etwa bei Kardinalzonen, konnte eine Schraffurroutine von POMASKA (1984) adaptiert werden.

Zu beachten ist, daß neben dem Dateinamen und der Anzahl der Datensätze ggf. ein Verkleinerungsfaktor vorgegeben werden muß, um die gewünschte Karte vollständig auf dem Bildschirm projizieren zu können.

Um thematische Rasterkarten auf dem Bildschirm darstellen zu können (Code 2), werden nach der Eingabe des Dateinamens, der Anzahl der Beobachtungen, der Anzahl der Rasterpunkte und ggf. eines Verkleinerungsfaktors zunächst ein Koordinatensystem und ein Rasternetz generiert. Falls die Rasterfelder schraffiert werden sollen - in der Display-Zeile wird diese Option angeboten - , so stehen für die Stufen (Klassen) fünf verschiedene, fest vorgegebene Signaturen zur Verfügung. Selbstverständlich können die Raster auch mit sonstigen Variablen, wie etwa der numerischen Geländeklassifikation, charakterisiert werden.

Als Besonderheit sowohl bei der Darstellung flächengleicher als auch rasterbezogener Informationen wird jeweils zum Abschluß der einzelnen Routinen eine Alternative angeboten, die aufgezeigte Planungskarte als **Gesamtbild** abzuspeichern. Zu diesem Zweck benötigt das Programm lediglich den Namen, unter welchem die Karte in dieser Art in die Datenbank aufgenommen werden soll.

In diesem Zusammenhang ist auch die Option 3 des Eingangsmenues zu sehen. Das Gesamtbild kann jederzeit nach der Vorgabe der Kartenbezeichnung vom Speichermedium direkt auf den Bildschirm gebracht werden. Dahinter verbirgt sich der Vorteil, daß etwa bei der Erschließungsplanung Planungsunterlagen ad hoc für die

Überprüfung von Linienführungen zur Verfügung gestellt werden können. Ansonsten dauert beispielsweise die Reproduktion von topographischen Karten etwa 20 Minuten.

In Verbindung mit jeder Planungskarte, die auf dem Bildschirm dargestellt wird, kann, falls ein neues Bild gewünscht wird, über eine ständig im Display angeführte Abfrage in das Eingangsmenue zurückgegangen werden.

Das Zeichnen von Planungskarten auf dem Plotter (Code 2, Startmenue) läßt sich wie folgt differenzieren:

FLÄCHENGLEICHE INFORMATIONEN - PLOTTER	1
RASTERBEZOGENE INFORMATIONEN - PLOTTER	2
LEGENDE	3
STARTMENUE	4

Bei beiden Subroutinen können (Code 1+2) bei den in Mitteleuropa normalerweise üblichen Größen der Erschließungsgebiete, über die Möglichkeit alternativ auf DIN-A 1-, DIN-A 2-, DIN-A 3- oder DIN-A 4-Format zu zeichnen, die Datenbankinhalte i.d.R. maßstabsgetreu (1 : 5000, 1 : 10000) reproduziert werden. Dazu müssen der Rasterabstand und die erforderliche Anzahl von Rasterpunkten in x- und y-Richtung, die benötigt werden um ein Gebiet abzudecken, nach der entsprechenden Abfrage im Display vorgegeben werden. Daraus wird die Länge der x-Achse ($\hat{=}$ y-Achse) ermittelt.

Je nach gewähltem Format prüft das Programm, ob die vorgegebene Achsenlänge akzeptiert werden kann. Stellt beispielsweise das Programm fest, daß der gewählte Wert für DIN-A 3 zu groß ist, so erhält der Anwender im Dialog die Information, daß das DIN-A 3-Format nicht ausreicht und entweder DIN-A 2 gewählt oder eine Begrenzung der Achse auf 22 cm, verbunden mit einer Verkleinerung des Maßstabes, akzeptiert werden muß. Analog zu diesem Vorgang wird auch bei den anderen Blattgrößen geprüft, ob in Originalgröße gezeichnet werden kann oder nicht. Die Grenzlängen der Achsen betragen bei DIN-A 4 = 14 cm, bei DIN-A 3 = 22 cm, bei DIN-A 2 = 34 cm und bei DIN-A 1 = 50 cm.

Die generelle Routine für das Plotten flächengleicher Informationen (Code 1) entspricht wie das Schraffurprogramm der Methodik bei der Bildschirmdarstellung. Allerdings kann hier auf den Verkleinerungsfaktor verzichtet werden. Dagegen muß über den Dateinamen hinaus der Nullpunkt (= erster Punkt bei der AXIS-ALIGN-Routine) zur Lokalisierung jeweils des gleichen Ausgangspunktes vorgegeben werden.

Bei linienförmigen Darstellungen - z.B. Höhenschichtlinien - werden darüberhinaus die Zeichenparameter Strichart und Farbe benötigt.

Flächige Planungsgrößen - z.B. Kardinalzonen - müssen unterschiedlich gekennzeichnet werden. Zu diesem Zweck müssen die Abgrenzungen der verschiedenen Kardinalzonen nacheinander geplottet und jeweils an Hand einer zusätzlich eingebauten Bildschirmmaske, die fünf farblich verschiedene Schraffuren und fünf unterschiedliche flächige Colorierungen erlaubt, entschieden werden, welche Signatur gewählt wird.

Das Plotprogramm für Rasterkarten (Alternative 2) unterscheidet:

2-DIMENSIONALE DARSTELLUNG	1
3-DIMENSIONALE DARSTELLUNG	2
EINGANGSMENUE	3

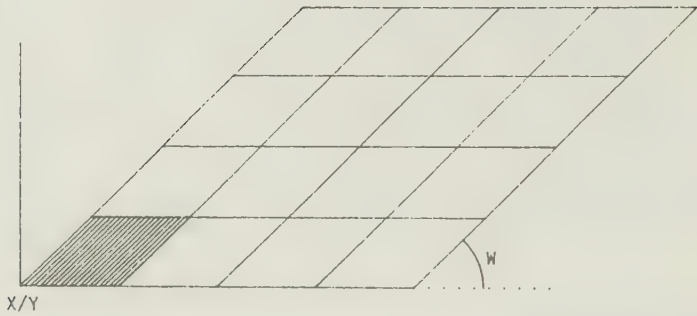
Bei 2-dimensionalen Rasterkarten werden zunächst das Koordinatensystem und das Gitternetz gezeichnet.

Die Signatur der Rasterfelder wird ebenfalls über ein zwischengeschaltetes Bildschirmmenue gesteuert. Die einzelnen Abstufungen, die die Merkmalsausprägungen repräsentieren, können in diesem Fall über 6 Codierungen unterschiedlichen Farben zugeordnet werden. Die Option 7 erlaubt, die Raster mit numerischen Informationen zu charakterisieren. Mit den Codes 8-10 kann darüber hinaus in 3 verschiedenen Farben schraffiert werden.

Die 3-dimensionale Darstellungsform beinhaltet ausschließlich die bildliche Wiedergabe der x-, y-, z-Koordinaten des 3-D-Modells. Für die Form und die Aussagekraft der Darstellung ist neben dem Blattformat entscheidend, welcher Faktor für die Überhöhung (ÜF) und welcher Winkel (W) für die perspektivische Darstellung gewählt wird. Der Anwender kann die beiden Parameter über entsprechende Display-Abfragen variabel gestalten. Die Konzeption der Plotroutine verdeutlicht die Abb. 14.

Mit dem Winkel (W) wird, ausgehend vom Punkt x/y, zunächst die Lage der Horizontalebene (Abb. 14a), über der für jeden Rasterpunkt die Geländehöhe dargestellt werden soll, festgelegt. Für den Übergang zum räumlichen Bild (Abb. 14b) müssen, wie für die schraffierte Fläche aufgezeigt werden soll, die Differenzen (HD) zwischen der Höhe (Z) des Ausgangspunktes und den Höhen ($Z_1 - Z_n$)

a)



b)

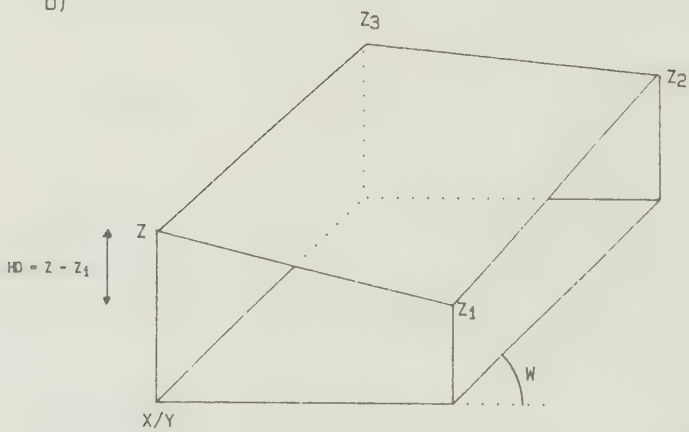


Abb.14: Konzeption der 3-dimensionalen Darstellung

der Rasterpunkte ermittelt werden. Um die für die Darstellung benötigte Umrechnung in Plottereinheiten auszugleichen, wurde der sogenannte Überhöhungsfaktor eingeführt. Damit wird gewährleistet, daß die Reliefverhältnisse, bezogen auf den Rasterabstand in der Horizontalebene, entweder maßstabsgerecht oder auch in über- oder unterzeichneter Form wiedergegeben werden können. Die Tabelle 13 bringt für einen begrenzten Bereich zum Ausdruck, wie der Überhöhungsfaktor (ÜF) und der Maßstab (M) zusammenhängen.

Tab. 13: Überhöhungsfaktor und Maßstab

ÜF	6	8	10	12	16	20
M	1 : 6700	1 : 5000	1 : 4000	1 : 3350	1 : 2500	1 : 2000

Code 3 des Eingangsmenues ermöglicht letztlich die ausgeplotteten Pläne und Karten mit der passenden **Legende** zu versehen. Zu diesem Zweck wurde über die zuvor erwähnte Begrenzung der x-Achse zu jedem Format rechtsbündig ein Beschriftungsfeld vorgesehen. Aufgrund der unterschiedlichen Datenbankinformationen mußte in einer Bildschirmmaske differenziert werden nach:

TOPOGRAPHIE	1
WEGENETZ	2
NUMERISCHE KLASSIFIKATION	3
SONSTIGE KARTEN	4
EINGANGSMENUE	5

Alle weiteren Optionen innerhalb dieser Routinen werden über die Display-Zeile erfragt.

Grundsätzlich muß für jeden Plan der Name, der Maßstab und über eine Kennzahl die Signatur für die Grenze des Gebietes vorgegeben werden.

Die unter Code 1 und 2 angelegten Legenden erlauben ansonsten keine Variationsmöglichkeiten.

Dagegen können unter der Wahlmöglichkeit 3 bis zu drei verschiedene Indices beschriftet werden.

Unter Option 4 können 5 (6) untereinander angeordneten Quadraten unterschiedliche Kennzeichnungen sowohl nach Farbe und Schraffur zugeordnet und verschieden beschriftet werden. Der Anwender kann somit die Legende gemäß den bei der Erstellung der Karte gewählten Farben und Schraffuren verfassen.

Nach jedem Beschriftungsvorgang wird im Display alternativ gefragt, ob das Eingangs-menue generiert werden soll oder nicht.

2.7 DATENBANK FÜR DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET "HOLLEMAIER LEITE"

Mit dem Aufbau einer Informationsbasis für das Untersuchungsgebiet "Hollemaier Leite" sollen zum einen das Gebiet näher vorgestellt und zum anderen die Grundlage für die Anwendung der EDV-gestützten Wegeprojektierung geschaffen werden. Über dieses Erschließungsprojekt wurde schon im Rahmen der Untersuchung zur "Planung und Bewertung der Walderschließung - unter besonderer Berücksichtigung des Kleinprivatwalds" ausführlich berichtet (vgl. LÖFFLER et al., 1985). Was die Darstellung der Planungskarten anbelangt, weicht diese von der dort gewählten Form nicht ab. Allerdings werden die Informationen jetzt über die zuvor be-

schriebene Datenbank entsprechend aufbereitet und systematisch zusammengestellt. Nachfolgend werden im einzelnen

- die Lage und Besitzverhältnisse kurz charakterisiert (aus LÖFFLER, et al., 1985) und
- die Informationsbasis mit Hinweisen zur Datenaufnahme und den verfügbaren Plänen skizziert.

Aus der im konzeptionellen Schema vorgeschlagenen Informationsfülle konnten für das Untersuchungsgebiet bislang nur Ausschnitte in die Datenbank eingearbeitet werden. Die Ausdrucke zu den einzelnen Informationen (Anlage 1) dokumentieren die derzeit aktuelle "Benutzersicht", d.h. die Zugriffsmöglichkeiten für den Anwender. Daraus wird deutlich, daß primär die Forderung erfüllt wurde, auf die für eine computergestützte Wegeplanung notwendigen Daten zurückgreifen zu können.

2.7.1 Lage- und Besitzverhältnisse

Das Untersuchungsgebiet "Hollmaier Leite" mit rd. 116 ha Gesamt- und rd. 114 ha Waldfläche (rd. 2 ha Jungviehweide) liegt im Voralpenland im Bereich des bayer. Forstamtes Schongau. Standörtlich gehört es innerhalb des Wuchsgebietes "Schwäbisch-bayerische-Jungmoräne und Molasse-Vorberge" zu dem Wuchsbezirk "Oberbayerische Jungmoräne und Molasse-Vorberge" und hier zu dem Teilwuchsbezirk "Kalkalpine-Jungmoräne".

Das der Besitzart Kleinprivatwald zugehörige Waldgebiet gliedert sich in 111 Flurstücke, die sich auf 67 Waldbesitzer verteilen. 5 Flurstücke fallen nur mit Teilflächen in das Planungsgebiet.

Tabelle 14 gibt die Besitzgrößenstruktur nach dem vom Forstamt zur Verfügung gestellten Waldbesitzerverzeichnis wieder.

Tabelle 14: Besitzgrößenstruktur (vgl. LÖFFLER et al., 1985)

Größenklasse in ha	Waldbesitzer		Hektar i.D.	Waldfläche	
	Anzahl	%		ha	%
1	2	3	4	5	6
unter 1,0	32	48	0,69	22,2	20
1,0 bis unter 2,0	19	28	1,40	26,6	23
2,0 bis unter 5,0	13	19	2,64	34,3	30
5,0 bis unter 10,0	1	2	6,00	6,0	5
über 10,0	2	3	12,74	25,5	22
Sa. bzw. Durchschn.	67	100	1,71	114,6	100

2.7.2 Die Informationsbasis

Neben dem bereits genannten Waldbesitzerverzeichnis kann im Kleinprivatwald i.d.R. nur auf die topographische Karte (1 : 5000) und die Flurkarte (1 : 5000) als direkt verfügbare Informationsquelle zurückgegriffen werden. Im Untersuchungsgebiet wurde zusätzlich ein Schichtlinienplan (1 : 5000) aus dem Luftbild (1 : 25000) erstellt. Die Entnahme von Lage- und Höhenpaßpunkten zur Orientierung des Stereomodells aus der Höhenflurkarte wurde ebenso wie die stereogrammetrische Auswertung von der Fa. Photogrammetrie GmbH, München, durchgeführt.

Die Grenze des Gebiets, die Schichtlinienpläne und die Parzellengrenzen wurden mit dem Digitalisiergerät erfaßt. Es konnten die Dateien GEB_GRENZ, 2_TOPO_T, 2_TOPO_L und PAR_GRENZ angelegt werden. Die dazugehörigen Karten sind in den Abb. 15 - 17 dargestellt.

Alle weiteren für die Charakterisierung des Erschließungsgebietes erforderlichen Primärdaten mußten im Rahmen von Feldaufnahmen erhoben werden.

PLAN: TOPOGRAPHISCHE KARTE

Maßstab: 1 : 12000

- = Grenze des Gebiets
- = 5m - Schichtlinien
- = 10m - Schichtlinien

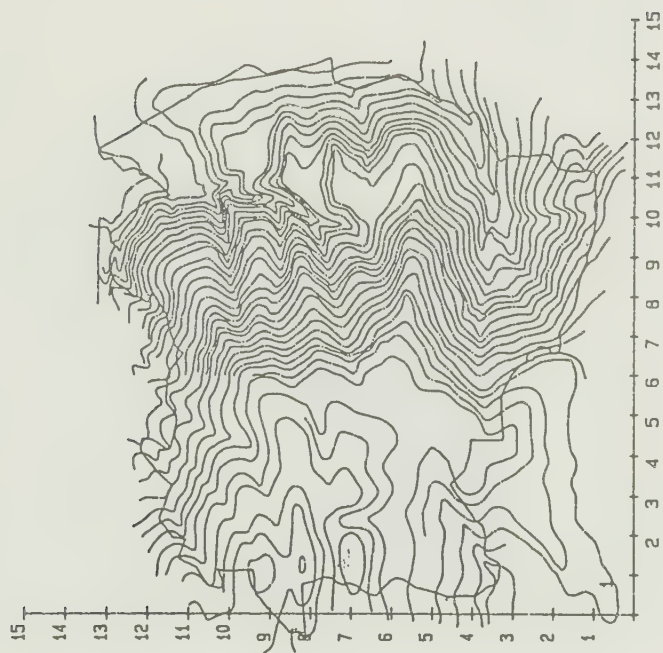


Abb. 15: Topographische Karte

PLAN: TOPOGRAPHIE-LUFTBILD

Maßstab: 1 : 12000

— = Grenze des Gebiets

--- = 5m - Schichtlinien

—— = 10m - Schichtlinien

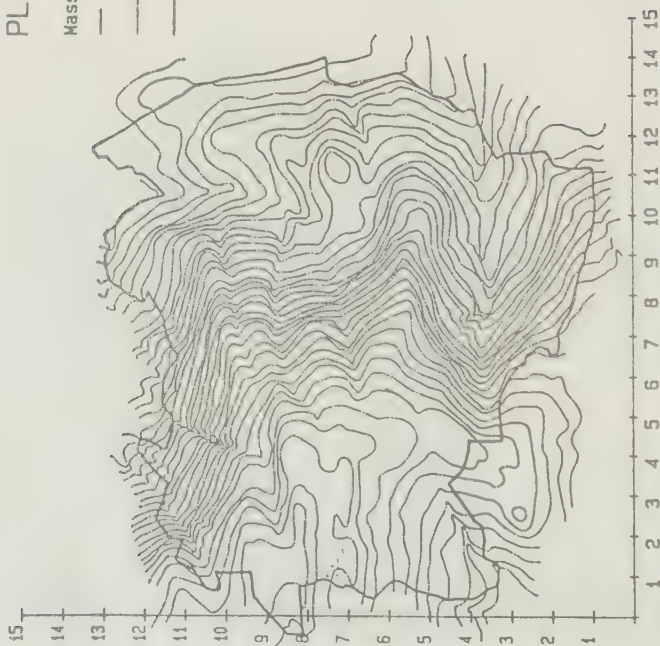


Abb. 16: Topographie - Luftbild

PLAN: PARZELLIERUNG

Maßstab: 1 : 12000
 — = Grenze des Gebiets
 = Parzellengrenzen

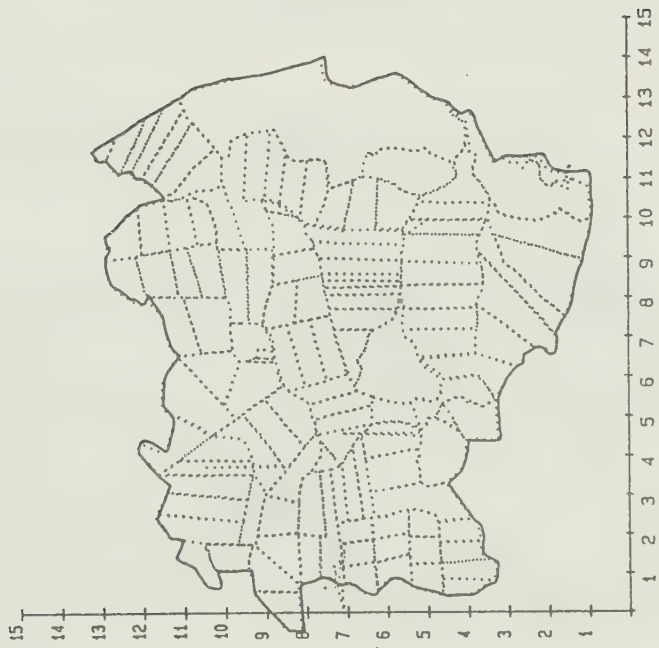


Abb. 17: Parzellierung

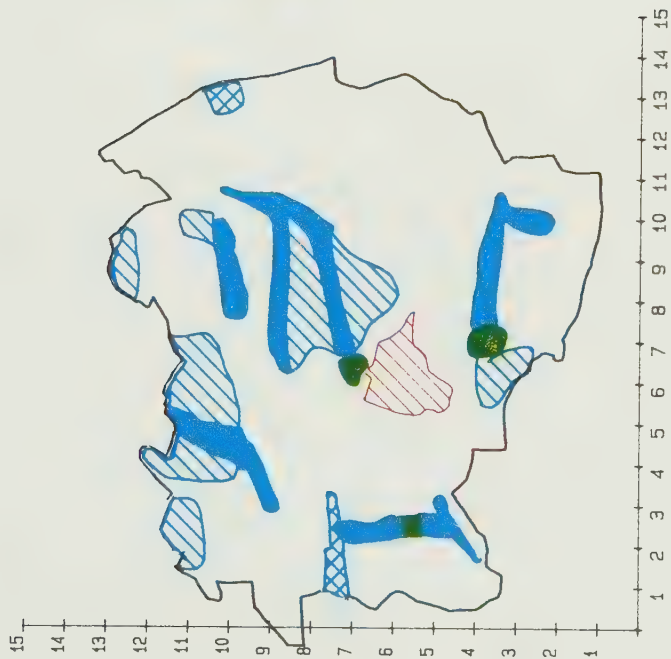
Im Rahmen der ersten Geländebegänge kartierten wir gutachtlich die positiven und negativen Kardinalzonen mit der Unterscheidung im bautechnisch günstige und ungünstige Bereiche und nahmen das vorhandene Wege- (Rückeweg-) netz auf. Dabei differenzierten wir nach LÖFFLER et al. (1985) in:

- Fahrwege,
- Rückewege der Kategorie 1, d.h. gute Linienführung nach Längsneigung (ca. $< 15 - 20 \%$) und Kurvenradius (ca. $> 8 - 10 \text{ m}$), ausreichende Tragfähigkeit für geländegängige Radfahrzeuge, keine wesentlichen jahreszeitlichen und witterungsbedingten Einschränkungen der Befahrbarkeit,
- Rückewege der Kategorie 2, d.h. schlechte Linienführung, geringe Tragfähigkeit, für geländegängige Fahrzeuge nur bei Trockenheit oder Frost befahrbar.

Diese flächentreuen Informationen wurden ebenfalls digitalisiert und die Datenbank um die Objekttypen Kardinalzonen (P_KARD, N_KARD) und Erschließung (ERSCHL) erweitert. Die Abb. 18 und 19 geben die Situation wieder.

Für die Erfassung der sonstigen Daten wurde auf die Stichprobentechnik zurückgegriffen. Wir entschieden uns, ausgehend von den Erfahrungen in anderen Erschließungsgebieten, für ein 1-ha-Quadratrasternetz (100 x 100 m-Raster). Die Werte in W-O-Richtung entsprechen den x-Koordinaten, die Werte in S-N-Richtung den y-Koordinaten. Vorbereitend für das Einmessen im Gelände wurde das Raster auf der Höhenflurkarte lagemäßig fixiert. Als Gauß-Krüger-Koordinaten für den Ursprung ergaben sich als Rechtswert 27675 m und als Hochwert 86650 m. Bei den Außenarbeiten wurden die Raster-schnittpunkte mit Hilfe von Kompaß und Bandmaß aufgesucht und so markiert, daß sie für die verschiedenen unmittelbar nachfolgenden Aufnahmen wieder auffindbar waren.

Abb. 18: Kardinalzonen.



PLAN:- KARDINALZONEN

Masstab: 1 : 12000

— = Grenze des Gebiets

 = bautechnisch ungunstig (Erosion)

 = bautechnisch ungunstig (Boden)

 = bautechnisch ungunstig (Grabeneinbaenge)

 = Fremdbesitz

 = bautechnisch guenstig (Grabenuebergaenge)

PLAN: WEGENETZ

Masstab: 1 : 12000

- Grenze des Gebiets
- - - Fahrwege
- - - Ruckewege 1
- - - Ruckewege 2
- ⊙ Anschlusspunkte

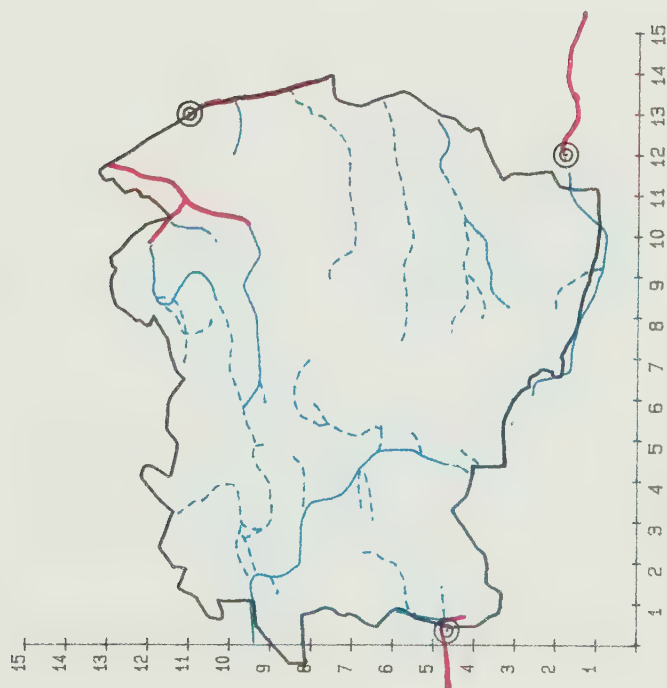


Abb. 19: Wegenetz

Für den Aufbau der Rasterdateien wurden an allen Rasterpunkten die Hangneigungsklassen und die Rauigkeitsklassen nach dem erwähnten Schema festgelegt, Penetrometer-Messungen durchgeführt (vgl. FEUERBAUM, 1985) und der forstliche Tatbestand im Anhalt an die Forsteinrichtungsrichtlinien (FER 1982, Anhang IV) von einem Forsteinrichtungstrupp erhoben.

Zur Charakterisierung der Bodenverhältnisse mit Hilfe der Penetrometer-Werte sei bemerkt, daß wir trotz der bekannten Unzulänglichkeiten auf diese Kennwerte zurückgreifen mußten. Penetrometer-Messungen sind derzeit die einzige praktikable Möglichkeit, die Bodentragfähigkeit in situ in größerem Stil ad hoc zu beurteilen. Als maßgebende Tiefenstufe werden nach den bisherigen Erfahrungen im Durchschnitt ca. 30 cm vorgeschlagen (EHRBAR, 1983, LÖFFLER et al., 1985, FEUERBAUM, 1985).

Für die kartenmäßige Reproduktion beschränkten wir uns darauf, die Kennziffern der Dateien Bodenklasse (BODEN_KL), Rauigkeitsklasse (RAUH_KL) und Hangneigungsklassen (HANG_KL) zu den bereits abgeleiteten numerischen Geländeklassen (Abb. 20) zusammenzufügen.

Aus den Ergebnissen der Waldinventur wurde nach der Auswertung auf dem Großrechner des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten nur der Objekttyp sonstige Daten (SONST_DAT) in die Datenbank aufgenommen. Abb. 21 verdeutlicht die Verteilung der Nutzungsarten. In Prozentwerten ausgedrückt sind:

UNBESTOCKT	1,8 %
JUNGBESTANDSPFLEGE	18,4 %
JUNG DURCHFORSTUNG	28,9 %
ALTDURCHFORSTUNG	42,1 %
VERJÜNGUNGSNUTZUNG	8,8 %

PLAN: GELAELENDEKLASSEN

Masstab: 1 : 12000

— = Grenze des Gebiets

INDEX 1 = Bodenklasse

INDEX 2 = Rauhigkeitsklasse

INDEX 3 = Hangneigungsklasse

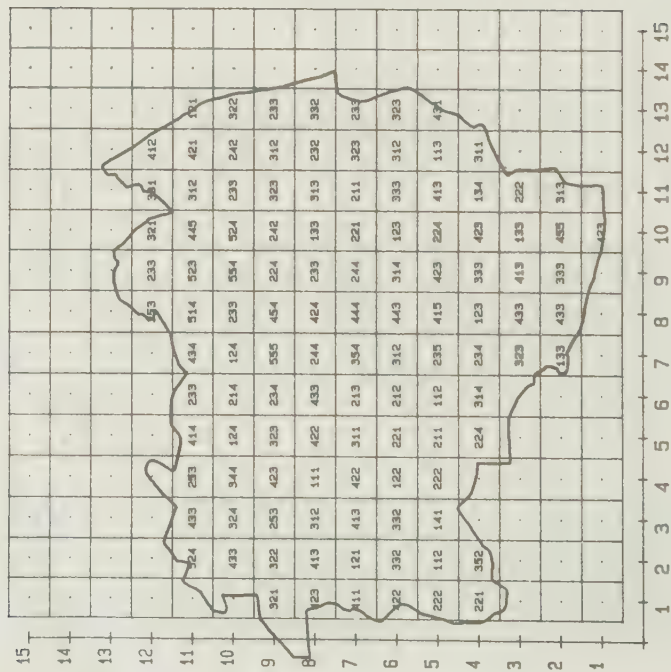


Abb. 20: Gelaendeklassifikation

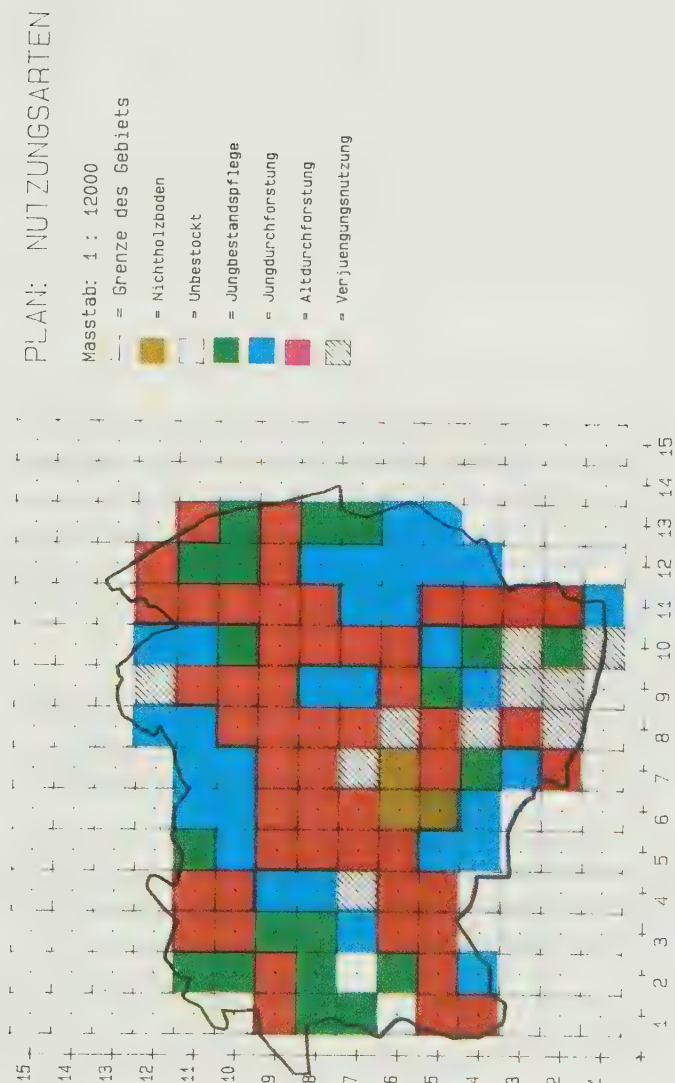


Abb. 21: Nutzungsarten

Der Bestockungsgrad (BG) liegt bei 0,96. Der Hiebsatz (HIEB_S) wurde bei einem Vornutzungsanteil von 58 % und einem Endnutzungsanteil von 42 % mit 7 Erntefestmeter ohne Rinde pro Jahr und ha veranschlagt.

Aus den Primärdaten wurden für das Erschließungsgebiet über die in den Kapiteln 2.6.3.1 bis 2.6.3.3 beschriebenen Subroutinen folgende Sekundärinformationen abgeleitet:

1. Die Befahrbarkeitsklassifikation (Abb. 22) mit dem Ergebnis, daß
 - 12 % der Fläche mit landwirtschaftlichem Schlepper uneingeschränkt befahrbar sind,
 - 41 % der Fläche infolge geringer Bodentragfähigkeit, 1 % aufgrund der Rauhigkeit und 12 % wegen der Hangneigung nur eingeschränkt zugänglich sind und
 - 1 % ausschließlich wegen mangelnder Bodentragfähigkeit, 7 % wegen der Rauhigkeit und 26 % aufgrund der Hangneigung mit landwirtschaftlichem Schlepper nicht befahrbar sind.
2. Die Rückeentfernungen (Abb. 23), zu deren Ermittlung nach dem in Abb. 24 aufgezeigtem Überlappungsprinzip unter Berücksichtigung der Befahrbarkeit und des Status quo-Wegenetzes die Rückestrecken mit Hilfe der Digitizer-Lupe abgefahren wurden.
3. Die rasterbezogene Dimensionierung der Tragschichtstärken (Abb. 25) auf der Basis der der Bodenklassifizierung zugrunde gelegten Penetrometer-Werte. Die erforderliche Tragschichtdicke wird in cm angegeben.
4. Die "cost areas" (Abb. 26) auf der Basis der zuvor ermittelten Tragschichtstärken und folgenden Vorgaben:

PLAN: BEFAHRBARKEIT

Maßstab: 1 : 12000

— = Grenze des Gebiets

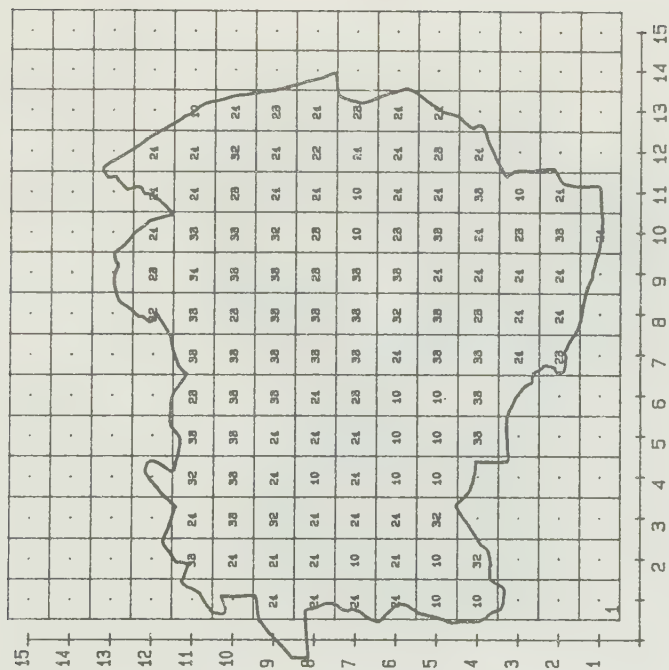


Abb. 22: Befahrbarkeitsklassen

PLAN: RUECKEENTFERNUNG

Masstab: 1 : 12000

— = Grenze des Gebiets

□ = nicht bringbar

■ = Rueckeentfernung < 100 m

■ = Rueckeentfernung 100 bis < 250 m

■ = Rueckeentfernung 250 bis < 500 m

■ = Rueckeentfernung 500 bis < 1000 m

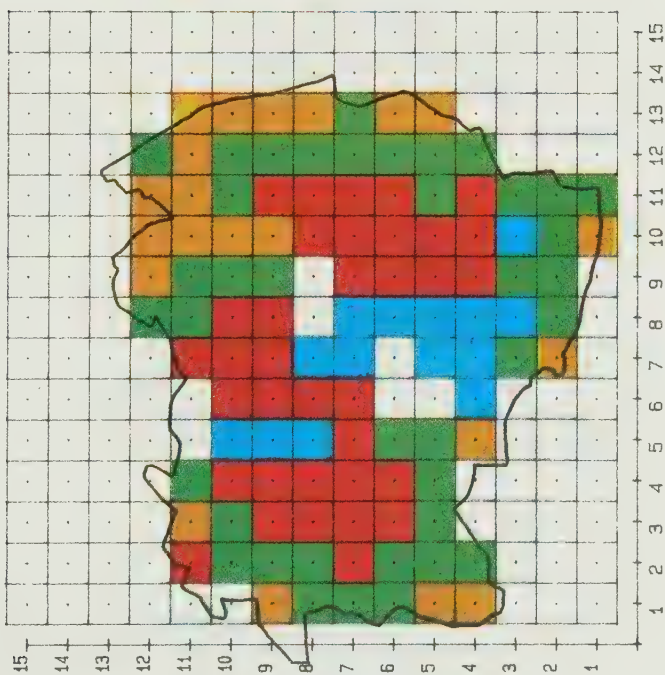
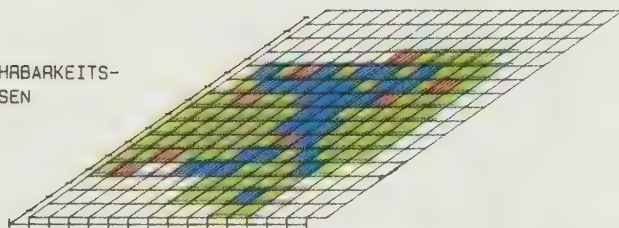
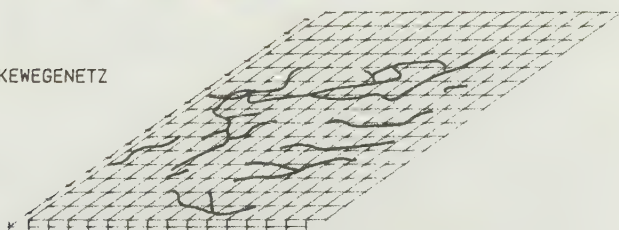


Abb. 23: Rueckeentfernung

BEFAHRBARKEITS-
KLASSEN



RUECKEWEGENETZ



RUECKE-
ENTFERNUNGEN

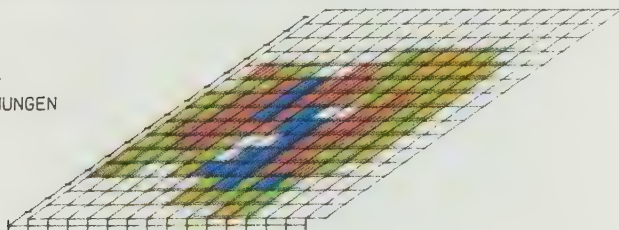


ABB.24: Datenbank-gestuetzte Herleitung der
Rueckeentfernungen

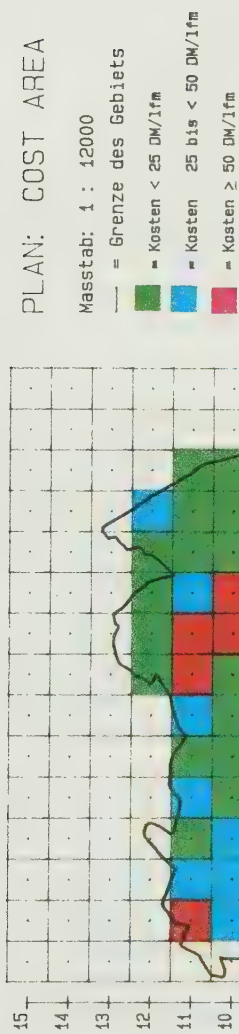


Abb. 26: "cost area"

- Straßenbreite = 4,50 m,
- Kosten für Tragschichtmaterial incl. Liefern und Einbau (lt. Forstamt) = 12,74 DM/m³,
- Leistung der Baumaschine (Planierraupe) beim Erdbau = 40 m³/Std.,
- Kostensatz für die Planierraupe = 110 DM/Std.

Es wurden die drei Kostenbereiche < 25 DM/lfm, 25 - 50 DM/lfm und > 50 DM/lfm ausgeschieden. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß diese Kosten nur die Erdbaumaßnahmen und das Tragschichtmaterial beinhalten, nicht hingegen die Maßnahmen der Wasserableitung, das Profilieren und Verdichten der Tragschicht, das Aufbringen einer Verschleißdecke und die Planung und Bauaufsicht.

5. Ein erstes 3-dimensionales Geländemodell, für dessen Darstellung (Abb. 27) der für die spätere Wegeprojektierung relevante Geländeausschnitt (vgl. Abb. 12) diene. Der Übersichtlichkeit wegen behielten wir hier das 1 ha-Raster bei. Als Winkel (W) wurden 45 Grad und für die Überhöhung (ÜF) der Faktor 12 vorgegeben. Für die computergestützte Detailprojektierung ist in jedem Fall eine Verkleinerung des Rasterlinienabstandes erforderlich. Bis zu welchem Minimalabstand dies notwendig und praktikabel ist, wird in Kapitel 6 im Rahmen des Programmtests aufgezeigt. Die dann neu zu generierenden Modelle fließen selbstverständlich als weitere Informationen in die Datenbank ein.
6. Ein Beispiel für die Raumwiderstandszahl, wobei in diesem Fall die Einzelwerte aus der numerischen Geländeklassifikation zu einer komplexen Planungsgröße zusammengefaßt wurden. Im Hinblick auf Erschließungsmaßnahmen sollten vor allem steilere Hangpartien und die sehr gering tragfähigen Bereiche ausgespart werden. Demzufolge wurde die Hangneigung mit 50 Punkten, die Bodentragfähigkeit mit 40 und die Rauhgigkeit mit 10 Punkten gewichtet. Abb. 28 zeigt das Resultat mit den 5 Abstufungen. Stufe 1 bedeutet sehr geringen, 5 dagegen sehr hohen

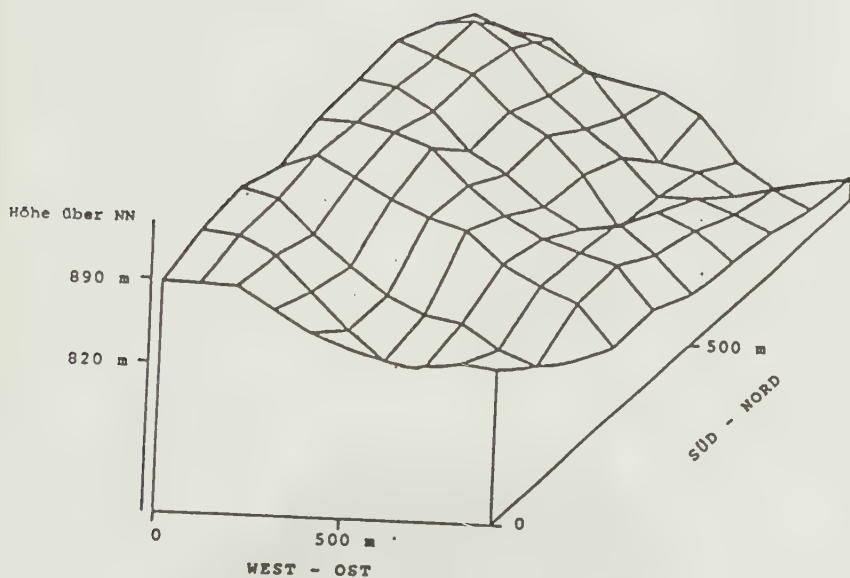


Abb.27: Digitales Gelaendemodell

PLAN: RAUMWIDERSTAND

Masstab: 1 : 12000

— = Grenze des Gebiets

Raumwiderstandszahl = 1

Raumwiderstandszahl = 2

Raumwiderstandszahl = 3

Raumwiderstandszahl = 4

Raumwiderstandszahl = 5

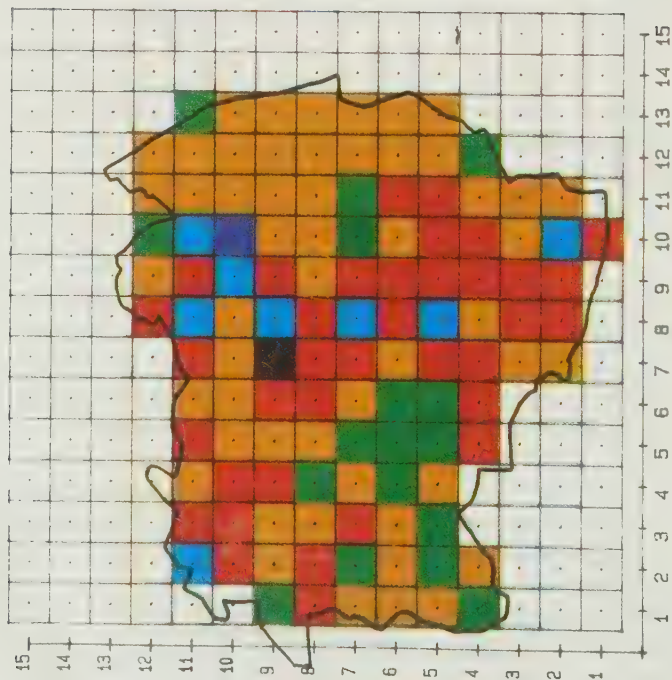


Abb. 28: Raumwiderstand

Raumwiderstand. Für die Wegeplanung lassen sich daraus Hinweise für mögliche Linienführungen ableiten. Raster mit einer Raumwiderstandszahl von 4 oder 5 sollten von einem Weg nicht durchschnitten werden. Sollte dies auf Grund anderer Restriktionen nicht durchweg eingehalten werden können, so sind diese kritischen Stellen in jedem Fall im Gelände zu begutachten. Die Raumwiderstandszahl 3 beeinträchtigt die Planung nur insofern, als hier mit höheren Kosten gegenüber den Bereichen mit Raumwiderstand 1 und 2 zu rechnen ist. Bei letzteren steht einer Planung nichts im Wege.

3 DIE KLASSISCHE WEGEPROJEKTIERUNG

Die Walderschließung umfaßt nach DIETZ et al. (1984) die Aufgabenbereiche:

- Erschließungsplanung,
- Projektplanung,
- Bauausführung,
- Instandhaltung.

Ein erster Überblick über den Ablauf der Erschließungsplanung und Wegeprojektierung wurde bereits im Zusammenhang mit dem Aufbau einer Informationsbasis gegeben. Dabei kam zum Ausdruck, daß sich mit zunehmender EDV-Anwendung die Informationsbeschaffung mehr und mehr zu einer selbständigen, von konkreten Planungsaufgaben losgelösten Tätigkeit entwickelt.

Zu den Aufgaben der Erschließungsplanung gehört es, alternative Erschließungslinien zu planen. Dies kann entweder, wie im einfachen Gelände, als Erschließungskorridor, "gestreckte" Leitlinie oder bereits als Wegeachse oder, wie unter schwierigen Geländeverhältnissen zunächst erforderlich, in Form von Nulllinien - häufig auch als Leitlinien bezeichnet - erfolgen. Mit der Bezeichnung Nulllinie soll zum Ausdruck gebracht werden, daß es sich dabei zunächst nur um ein Polygon mit einer vorgegebenen Steigung oder Neigung handelt, das es im weiteren Verlauf der Planung zu strecken und auszurunden gilt. Da im Bergland der Begriff Nulllinie die durchzuführende Tätigkeit präziser beschreibt, verzichten wir in den nachfolgenden Ausführungen darauf, die Bezeichnungen Leitlinie und Nulllinie synonym zu verwenden, sondern beschränken uns auf letztere.

Geplant wird die Nulllinie in der Regel auf der großmaßstäblichen topographischen Karte (1 : 5000, 1 : 10000). Das Abstecken im Gelände beschränkt man auf schwierige Trassenstücke. Die

Erschließungsplanung wird abgeschlossen mit dem bewertenden Vergleich der Alternativen und daraus folgend mit der Entscheidung für die zu realisierende Variante.

Es ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, das Arbeitsfeld Erschließungsplanung im Detail zu behandeln. Der kurze Abriß sollte jedoch zumindest aufzeigen, welche Planungsmaßnahmen bis zum Beginn der Detailprojektierung anstehen. Darüberhinaus beweist gerade das Beispiel der Informationsbeschaffung, daß eine strikte Trennung zwischen Projektierung und Planung kaum möglich ist.

Die Aufgabe der Wegeprojektierung (= Projektplanung, Detailprojektierung) ist es, die zu realisierende Variante bis zur Baureife technisch und ökonomisch im Detail zu planen (DIETZ et al., 1984). Dies führt letztendlich zur Leistungsbeschreibung und zur Erstellung eines detaillierten Kostenplanes. Das Vorgehen bei der Wegeprojektierung wird nachfolgend beschrieben und an einem konkreten Beispiel demonstriert.

Auf die technische Bauausführung und die laufende Instandhaltung sei nur der Vollständigkeit halber verwiesen. In der vorliegenden Untersuchung werden diese Arbeitsbereiche nicht weiter erörtert.

3.1 INTENSITÄTSSTUFEN BEI DER PROJEKTAUSARBEITUNG

LORENZ (1971) beschreibt die Trassierung und die Gestaltung eines Weges als zentrale Aufgabenstellung der Wegeplanung sehr treffend:

"Trassieren bedeutet: Im Gelände einen Weg sehen, der noch nicht da ist. Dieser Weg muß vielen Bedingungen entsprechen: topographischen, geometrischen, dynamischen, verkehrstechnischen, landschaftlichen, psychologischen, klimatischen usw. Ist die Linienführung in großen Zügen gefunden, so beginnt die eigentliche Trassierung und Gestaltung. Dabei ist die Gestaltung nicht ein Ding für sich, sondern ein Teil des Ganzen, denn sie besteht in dem Bemühen, das zu schaffen,

was wir auf dem fertigen Weg erleben wollen. Man wird die schönen und günstigen Stellen nutzen, neue entstehen lassen, Hindernisse geschickt und sogar reizvoll überwinden, ein Werk schaffen aus einem Guß. Das verlangt man von Trassierung und Gestaltung."

Dieses Zitat macht deutlich, wie reizvoll, aber auch wie anspruchsvoll und schwierig die Wegeplanung sein kann. Allerdings darf man nicht davon ausgehen, daß jede Planungsaufgabe alle genannten Aspekte zwingend beinhaltet. Vielmehr kann der Planungsaufwand - auch bei einem fachgerechten Vorgehen - je nach Umgebungsbedingungen stark variieren. Um eine einheitliche Regelung zu finden, haben DIETZ et al. (1984) die in Tabelle 15 näher charakterisierten Intensitätsstufen für die Wegeplanung ausgeschieden. Die Profilierungsarbeiten wurden in dieser Übersicht nicht aufgenommen, da sie im weiteren Ablauf der Arbeit ebenfalls unberücksichtigt bleiben.

Tabelle 15: Intensitätsstufen der Planung beim Waldwegebau
(vgl. DIETZ et al., 1984, S. 285)

Planungsschritte	Planungsintensität			
	1	2	3	4
Absteckung - Aufnahme				
Variantenstudium, Trassierung	+	+	+	+
Achsabsteckung	+	+	+	+
Aufnahme Wegachsen-Polygon				+
Aufnahme Querprofile			+	+
Aufnahme Längenprofil		+	+	+
Planungs-Protokoll	+	+	+	+
Projekt-Ausarbeitung				
Zeichnen Längenschnitt, Gradiente		+	+	+
Zeichnen der Gelände- und Kunstquerprofile			+	+
Erdmassenberechnung			+	+
Zeichnen Lageplan				+
Planung Entwässerung, Kunstbauten etc.	+	+	+	+
Leistungsbeschreibung, Kostenplan	+	+	+	+

Als das "klassische Verfahren" gilt die Intensitätsstufe 4, die alle Planungsschritte nach Tabelle 15 umfaßt. Sie wird, weltweit gesehen, derzeit nur noch in der Schweiz (nach SAFS) und zum Teil in Japan (PRACTICE OF FOREST ROAD CONSTRUCTION, 1984) konsequent praktiziert. Ansonsten zeichnet sich ein eindeutiger Trend in Richtung niedriger Planungsintensität ab.

Nachdem, wie eingangs aufgezeigt, für künftige Wegeprojekte die Geländebedingungen zunehmend schwieriger werden, sollte allerdings die Stufe 3, bei der gegenüber Stufe 4 auf die Aufnahme des Wegeachsen-Polygons und vor allem auf die Konstruktion der Wegeachse im Lageplan verzichtet wird, nicht oder nur in Ausnahmefällen unterschritten werden. Der Rückschritt auf die Intensitätsstufe 2, die zwar die Erfassung des Geländelängsprofils, jedoch keine Erdmassenberechnung mehr vorschreibt, oder sogar auf Stufe 1, die sich lediglich auf die Achsabsteckung im Gelände und die Ausarbeitung eines Kostenplans beschränkt, führt bei schwierigeren Projekten in den meisten Fällen zu unbefriedigenden Ergebnissen.

Im Hinblick auf die zukünftigen Planungsaufgaben und die dafür empfohlene EDV-Anwendung wird nachfolgend das Vorgehen bei der Intensitätsstufe 3 näher vorgestellt. Mit diesem Verfahren können auch in schwierigen Planungssituationen zufriedenstellende Resultate erzielt werden.

3.2 DAS VORGEHEN BEI DER WEGEPROJEKTIERUNG

Das Ablaufschema in Abb. 29 gibt einen Überblick über die erforderlichen Planungsschritte. Es wird unterstellt, die Nulllinie des zu planenden Weges liege als Ergebnis der (generellen) Erschließungsplanung im Gelände und auf der Karte fest. Die Nulllinie bildet somit den Ausgangspunkt der Projektierung.

Für den forstlichen Wegebau ist die direkte Achsabsteckung im Gelände in enger Anlehnung an die Nulllinie charakteristisch.

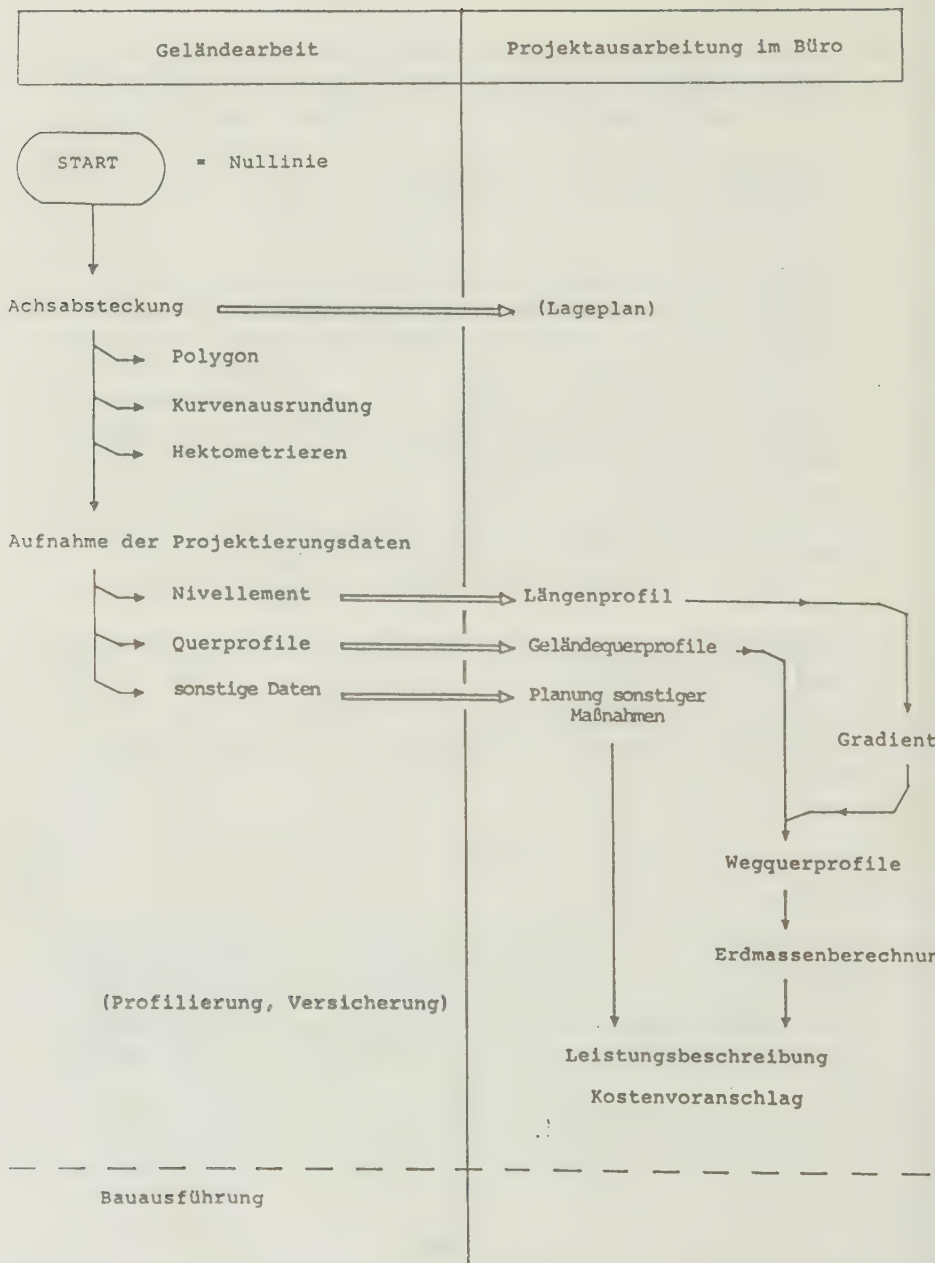


Abb.29: Ablaufschema fuer die klassische Wegeprojektierung

Die Winkel des dabei entstehenden Polygonzuges werden dann ebenfalls in direkter Absteckung durch Kreisbögen oder Parabeln ausgerundet (vgl. auch DIETZ et al., 1984, S. 248 ff). Für die spätere zeichnerische Darstellung werden zusätzlich Azimut und ggf. Kurvenradius und Tangentenlänge festgehalten.

Die klassische "ingenieurmäßige" Planung mit der zeichnerischen Festlegung der Wegeachse im eventuell gestreckten Nulllinienpolygon als Lageplan wird im forstlichen Bereich nur mehr in Ausnahmefällen praktiziert.

Die Aufnahme der weiteren Projektierungsdaten erfolgt beim Nivellement (= Aufnahme der Geländehöhen der Stationspunkte), durch die Messung der Geländequerprofile an den Stationspunkten und durch die Erfassung sog. sonstiger Daten als Grundlage für Maßnahmen der Entwässerung oder beispielsweise der Böschungssicherung.

Zur weiteren Projektausarbeitung im Büro muß zunächst die Geländeausformung im Bereich des zukünftigen Weges zeichnerisch dargestellt werden. Dies geschieht im Geländelängsschnitt, der, wie KUONEN (1984) es formuliert, den Terrainverlauf der Straßenachse im Aufriß widerspiegelt, und in den Geländequerprofilen, die den Geländeverlauf senkrecht (in den Kurven radial) zur Wegeachse charakterisieren.

Auf die großmaßstäbliche Darstellung (1 : 1000) des zukünftigen Weges in Horizontalprojektion (= Lageplan) kann bei der direkten Achsabsteckung verzichtet werden. Es genügt i.d.R., den Weg nach Abschluß der Planung in der Höhenflurkarte (1 : 5000) oder in der forstlichen Wirtschaftskarte (1 : 10000) lagemäßig zu fixieren.

Zentrale Aufgaben bei der Projektausarbeitung im Büro sind die Festlegung der Gradienten (= Festlegung der Höhenlinie des zukünftigen Weges) und im weiteren in Verbindung mit der Erdmassenberechnung der Erdmassenausgleich. Sicherlich können auf Grund der Leistungsfähigkeit der heute bei der Erdmassenbewegung einge-

setzten Maschinen die Genauigkeitsansprüche der Erdmassenberechnung als wichtiger Parameter der Bauabrechnung gegenüber den Anforderungen bei der früher üblichen Handarbeit reduziert werden (OSTERLOH, 1985). Trotzdem muß weiterhin eine einwandfreie und nachprüfbare Massenberechnung verlangt werden, da

- die Erdmassenbewegung bei zahlreichen Bauvorhaben die Kosten immer noch ganz erheblich mitbeeinflusst und
- übergroße Böschungsflächen die Holzbringung unnötig erschweren und darüberhinaus einen vermeidbaren Eingriff in die Landschaft darstellen (DIETZ et al., 1984).

Aus diesem Grund bilden die Erdmassenberechnung und der optimale Ausgleich zwischen Abtrag und Auffüllung nach wie vor das Entscheidungskriterium für oder gegen die gewählte Wegeführung.

Die Planung sonstiger Maßnahmen sollte sowohl hinsichtlich der Organisation der Baumaßnahmen als auch als Kostenfaktor bei der Bauausführung nicht vernachlässigt werden. Langfristig gesehen können insbesondere Mängel bei Entwässerungseinrichtungen oder Kunstbauten erhebliche Instandhaltungskosten nach sich ziehen.

Die Planungsarbeiten bei der Wegeprojektierung lassen sich zusammenfassend in die beiden Blöcke Geländearbeit und Projektausarbeitung im Büro gliedern. Das Zusammenwirken zwischen diesen beiden Aufgabenbereichen zeigt das Ablaufdiagramm in Abb. 30.

Ob eine gewählte Wegeführung die Anforderung nach einem möglichst guten Massenausgleich erfüllt, kann erst nach der vollständig durchgeführten Projektausarbeitung festgestellt werden. So muß bei ungenügendem Erdmassenausgleich zunächst im Rahmen der Projektausarbeitung versucht werden, eine Verbesserung durch die Vertikalverschiebung der Gradienten zu erzielen. Führt dies nicht zu einem zufriedenstellenden Ergebnis, muß in Teilabschnitten die Wegeachse entweder durch eine zeichnerische Achsverschiebung oder in Ausnahmefällen direkt im Gelände neu festgelegt werden. Als Konsequenz

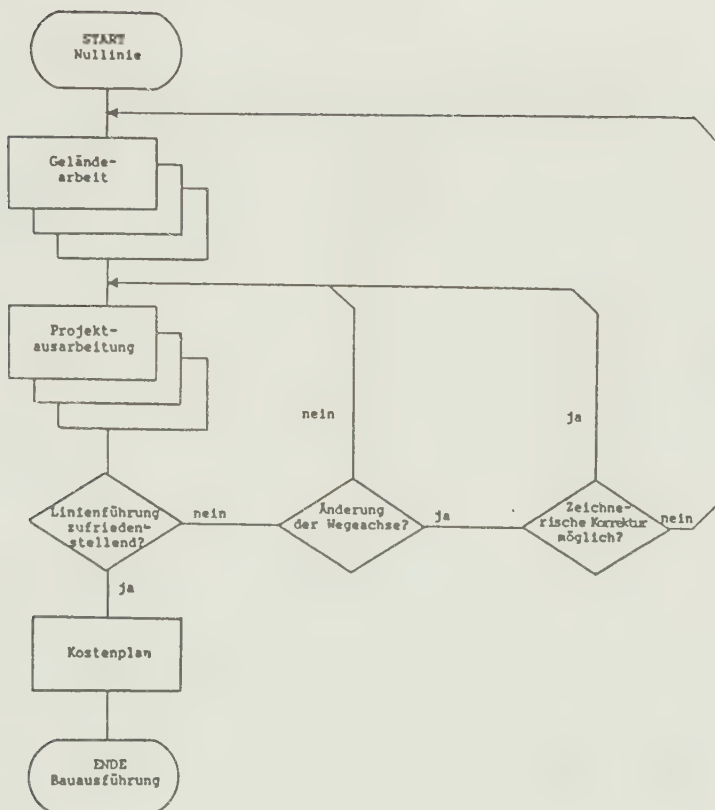


Abb.30: Zusammenwirken von Geländearbeit und Projekt-
ausarbeitung

daraus sind alle Zeichen- und Rechenarbeiten zumindest für die
geänderten Wegeabschnitte erneut durchzuführen.

Diese manuelle Iteration läßt sich in der Praxis auf Grund des
enormen Zeitaufwands nicht beliebig oft wiederholen, sondern muß
i.d.R. auf nur einen weiteren Rechendurchgang beschränkt werden.

Vollkommen ausscheiden muß von vorneherein eine Detailprojektion für verschiedene Varianten. Die bei der Planung erzielten Ergebnisse stellen daher trotz des relativ hohen Planungsaufwandes i.d.R. nur ein Suboptimum dar. Mit der vorgesehenen EDV-Lösung kann der Planungsprozeß ohne allzu großen Zeitaufwand wiederholt werden. Eine iterative Annäherung an das Optimum ist dadurch leichter zu realisieren.

Nach Abschluß der planerischen Konstruktion wird als Grundlage für die spätere Bauausführung das Leistungsverzeichnis mit der genauen Beschreibung der einzelnen Teilarbeiten verfaßt. Je nachdem ob der Bau in Eigenregie oder durch Unternehmer durchgeführt werden soll, dient das Leistungsverzeichnis als Grundlage für den Kostenplan des Forstbetriebs oder als Grundlage für die Angebotsabgabe.

Aus der Gegenüberstellung Kostenvoranschlag - tatsächlich entstandene Baukosten können an Hand des Leistungsverzeichnisses nach Abschluß der Baumaßnahmen Kalkulationsgrundlagen für künftige Bauvorhaben erstellt werden (vgl. auch DIETZ et al., 1984).

3.3 DIE WEGEPROJEKTIERUNG IM UNTERSUCHUNGSGEBIET

"HOLLMAIER LEITE"

Die Entscheidung für die im Erschließungsgebiet "Hollmaier Leite" zu realisierende Variante richtete sich, soweit es die örtlichen Verhältnisse zuließen, nach den Wünschen der Waldbesitzer. Nachdem einerseits besonders jene Waldbesitzer, deren Flurstücke im Osten des Projektgebietes liegen, auf einen besseren Zugang zu ihrem Wald drängten und andererseits die übrigen Waldbesitzer zum Zeitpunkt der Wegeplanung Wegebaumaßnahmen ablehnend gegenüberstanden, entschlossen sich erstere zu einer Erschließung zumindest ihrer Parzellen. Dem klassischen Vorgehen entsprechend wurde für die zu erschließende Fläche zunächst die Nulllinie auf der topographischen Karte 1 : 5000 mit Hilfe des Zirkelschrittver-

fahrens geplant. Dabei galt für die Längsneigung eine Obergrenze von 10 %, die bei der Planung auf der Karte durchweg eingehalten werden konnte.

Im Anhalt an die Vorgaben aus der Zirkelschrittplanung wurde die Nulllinie mit Hilfe eines Gefällsmessers ins Gelände übertragen. Für die Trassenabschnitte zwischen 1100 und 1300 m mußten 11 %, zwischen 1485 und 1600 m 12 % toleriert werden. Der maximale Steigungswechsel erreichte ± 5 %. Der Abstand der Nulllinienpunkte richtete sich nach der Geländeausformung, lag jedoch meist im Bereich zwischen 10 und 20 Meter. Für später anzustellende Vergleichsrechnungen mit EDV-gestützten Methoden wurden neben den Entfernungen zwischen den Nulllinienpunkten zusätzlich die Horizontalwinkel des Nulllinienpolygons gemessen.

Abb. 31 zeigt auf der topographischen Karte den Verlauf der im Gelände trassierten Nulllinie, die im Anschlußpunkt 1 (P1) im Osten an einer Staatsstraße angebunden ist und im Südosten mit einer Wendeplatte endet. Um die Zeichenarbeiten zu vereinfachen, diente schon hier der Computer als Zeichenhilfe. Für die Reproduktion der topographischen Karte mit dem Plotter wurde die in der Datenbank abgelegte Planungskarte "2_TOPO_T" verwendet (siehe Kapitel 2). Polygonzüge lassen sich am einfachsten nach Vorgabe der kartesischen Koordinaten der Polygonpunkte zeichnen. Diese können aus den im Gelände aufgenommenen Polarkoordinaten leicht berechnet werden (nähere Angaben dazu in VOLQUARDT et al., 1966, und KUONEN, 1983, S. 696 ff.). Die Nadelabweichung N kann aus der Legende der topographischen Karte (1 : 2500, 1 : 50000) entnommen werden. Zur Korrektur wird der gesamte Bussolenzug um die Querabweichung gedreht. Bei einer Nadelabweichung von derzeit nahezu 0 Grad konnte das im vorliegenden Projekt unterbleiben.

Für die Umrechnung der Polarkoordinaten in kartesische Koordinaten wurden, um den Vorgang zu beschleunigen, bereits in diesem Stadium einfache Rechenprogramme, sowohl für den Taschenrechner

PLAN: NULLLINIE

PROJEKT: Hollmaier Leite

Masstab: 1 : 12000

— = Grenze des Gebiets
— = Nulllinienpolygon

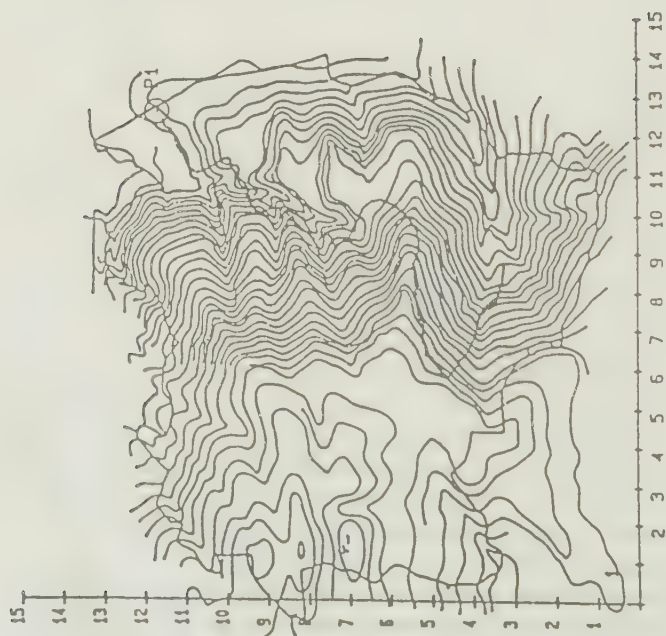


Abb. 31: Topographie + Nulllinie

(HP 41-CV) als auch für die institutseigene Rechenanlage geschrieben. Bei der Taschenrechneranwendung mußten allerdings für das Zeichnen die neu errechneten kartesischen Koordinaten in den Computer eingegeben werden.

3.3.1 Die Geländearbeiten im Rahmen der Detailprojektierung

Bei den Feldarbeiten im Projektgebiet galt die Prämisse, möglichst exakte Vergleichsdaten für die später anzuwendende EDV-gestützte Wegeprojektierung zu erhalten. Zum Teil wurden daher über die üblichen Erfordernisse hinaus Daten erhoben. Der Zeitaufwand für die Absteckungs- und Vermessungsarbeiten im Untersuchungsgebiet ist daher nicht repräsentativ und kann somit nicht für einen Vergleich zwischen Zeitbedarf für die klassische und die EDV-gestützte Projektierung herangezogen werden.

Als erster Arbeitgang wurde das Nulllinienpolygon durch die direkte Achsabsteckung nach dem Tangenten-Verfahren ausgeglichen. Eine gute Anpassung an das Gelände wurde dadurch angestrebt, daß zum einen die Tangenten streng der Nulllinie folgten und zum anderen in den teilweise sehr tiefen Grabenübergängen "Tangentenzwangsschnittpunkte" festgelegt wurden.

Die Winkel des Tangenten-Polygonzugs wurden ebenfalls in direkter Absteckung durch Kreisbögen nach der "Methode der Kreisbogenabsteckung von der Tangente aus mit Hilfe des Zentriwinkels" ausgerundet. Diese Methode wurde gewählt, da sich die computergestützte Ausrundung zumindest in Teilen an diesem Verfahren orientiert.

Es wurde darauf geachtet, einen Kurvenradius von 20 m möglichst nicht zu unterschreiten. Bis auf sechs geländebedingte Ausnahmen, bei denen Radien zwischen 17 und 18 m akzeptiert werden mußten, konnte die Vorgabe bei den verbleibenden 35 Bögen erfüllt werden. Die für die Einmessung der Bogenpunkte erforderlichen Bogenelemente

wurden aus den Eingangsgrößen Radius und Zenitwinkel mit Hilfe eines Taschenrechners ermittelt. Zur Bestimmung des Scheitelabstandes a und zur Kontrolle der errechneten Werte wurde zusätzlich die Kurventabelle von ARETIN benutzt.

Auf weitere Detailinformationen zur Kurvenabsteckung sei hier verzichtet. Nähere Angaben, auch zur Berechnung der Kurvenelemente, können den Lehrbüchern von HAFNER (1971), KUONEN (1983) und DIETZ et al. (1984) entnommen werden.

Bei der die Achsabsteckung abschließenden Hektometrierung wurden vom Wegeanfang (= Anschlußpunkt 1) aus auf den Geraden, der Geländeausformung Rechnung tragend, in Abständen von 10 oder 20 m und in den Kurven den Bogenpunkten folgend die Stationspunkte eingemessen, anschließend die Markierungspflöcke fortlaufend nummeriert und mit der Längenangabe beschriftet. Insgesamt wurden bei einer Länge des Weges von 1674 m 200 Stationspunkte festgelegt.

Wie bereits aufgezeigt, müssen zumindest im schwierigen Gelände für die nachfolgenden Planungs- und Rechenschritte der Projekt- ausarbeitung im Büro Informationen über die Geländeausformung im Bereich des zukünftigen Weges zur Verfügung gestellt werden. Dazu wurden im Untersuchungsgebiet mit einem Nivellement die Geländehöhen der Stationspunkte ermittelt. Ein zur Kontrolle durchgeführtes Rücknivellement bestätigte die Werte aus der ersten Messung. Hinsichtlich des Vorgehens sei wiederum auf die bereits genannten Lehrbücher verwiesen.

Querprofile wurden an jedem Stationspunkt mit Hilfe eines Neigungsmessers über eine Breite von 60 Meter (beidseitig der Achse jeweils 30 m) gemessen. Dies geschah primär mit der Absicht, zumindest im Umfeld der Wegeachse die aus Kartenunterlagen aufgebauten Gelände- modelle (3-D-Modell) mit terrestrisch erhobenen Daten überprüfen zu können. Zusätzlich ergab sich dadurch die Gelegenheit, auch bei der klassischen Projektausarbeitung eine Achsverschiebung - falls erforderlich - im größeren Maße zeichnerisch durchzuführen.

Der Jahresniederschlag in dem Erschließungsgebiet beträgt i.D. ca. 1350 mm. Starkniederschläge sind relativ häufig. Daher erforderte die Wasserableitung, insbesondere in den die zukünftige Straße kreuzenden Gräben, ein besonderes Augenmerk. Die kritischen Stellen wurden während der Feldaufnahmen kartenmäßig erfaßt.

3.3.2 Die Projektausarbeitung im Büro

Um eine zuverlässige Vergleichsbasis für die EDV-gestützte Wegeprojektierung zu schaffen, verlangten auch die Arbeiten im Büro ein differenziertes Vorgehen mit entsprechenden Kontrollrechnungen.

Es sei vorweggeschickt, daß sämtliche Pläne und Berechnungsunterlagen der Projektausarbeitung in einer separaten Anlagenmappe zusammengestellt wurden.

Da in Verbindung mit der geschilderten direkten Achsabsteckung im Gelände auf eine Zeichnung des Lageplans für konstruktive Zwecke (1 : 1000) verzichtet werden kann, wird die lagemäßige Darstellung des Weges im allgemeinen auf die Übertragung des Tangentenpolygons in die topographische Karte (1 : 5000) oder in die Forstbetriebskarte (1 : 10000) beschränkt. Für das vorliegende Projekt zeigt Abb. 32 den Wegeverlauf in der topographischen Karte (verkleinerter Maßstab 1 : 12000). Für die Zeichenarbeiten wurde wiederum das Computerprogramm benutzt, das auch für die Darstellung der Nulllinie herangezogen wurde.

Die Abb. 33 verdeutlicht für den Wegeabschnitt von Station 0 bis Station 300, wie das Nulllinienpolygon mit Hilfe der Tangenten ausgeglichen und an den Tangentenschnittpunkten die Bögen ausgerundet wurden. Für diese Darstellung wurde ebenfalls auf den Plotter zurückgegriffen.

PLAN: WEGEACHSE

PROJEKT: Hollmaier Leite

Maßstab: 1 : 12000

Laenge: 1674 m

— = Grenze des Gebiets

— = Tangentenpolygon

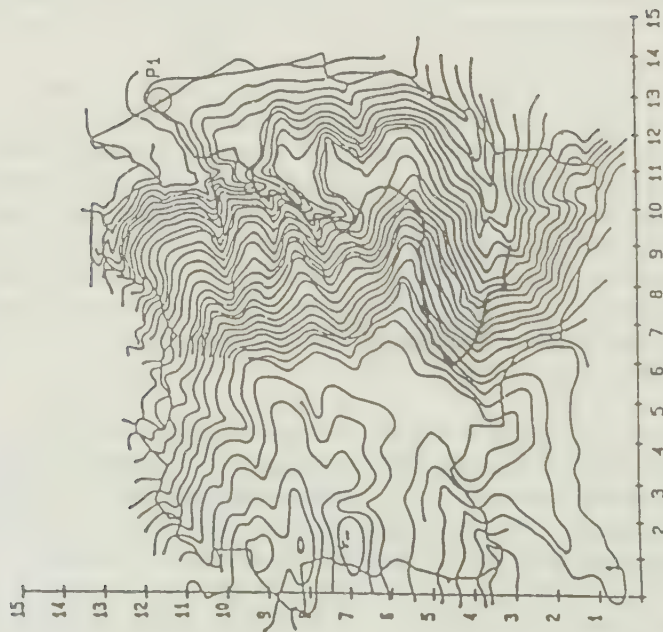


Abb. 32: Topographie + Wegeachse

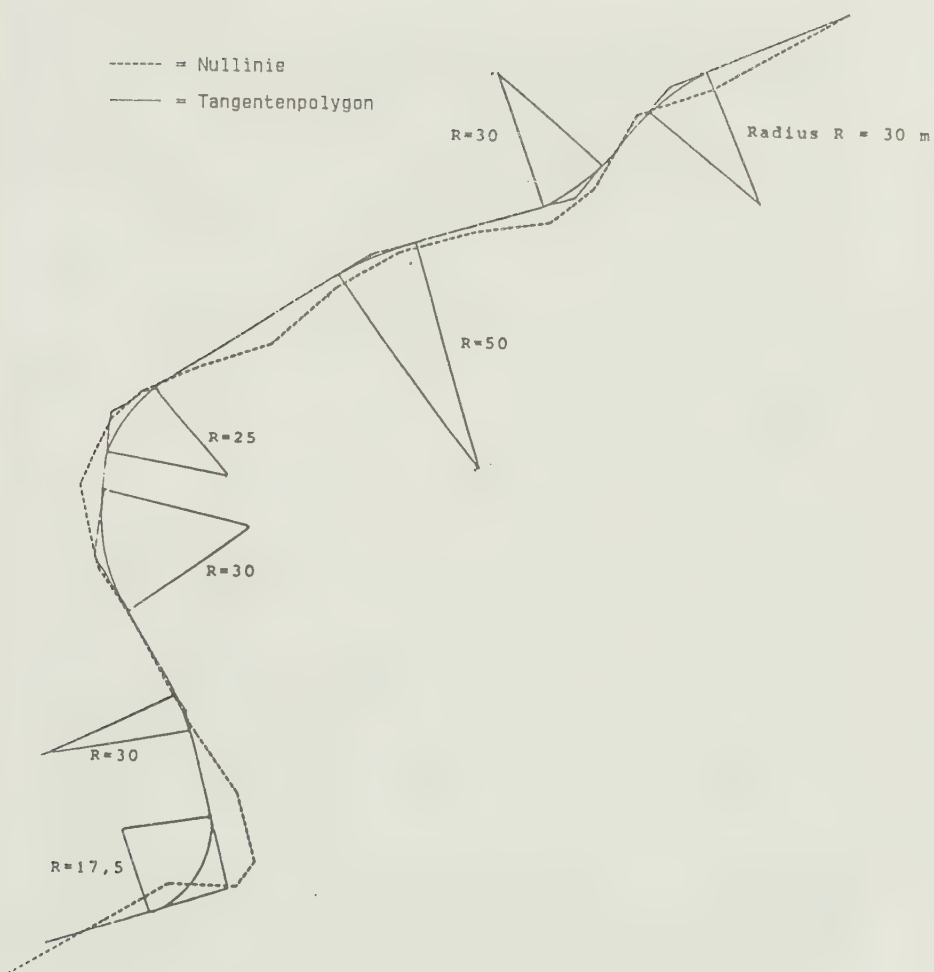


Abb.33: Ausgleich des Nulllinienpolygons

Der gesamte Lageplan wurde ebenso wie die für die weitere Planung erforderlichen Pläne in klassischer Weise von Hand angefertigt (siehe Anlagenmappe).

Das Längenprofil wurde im üblichen Maßstab 1 : 100 : 1000, d.h. die Längen als Abszissen im Maßstab 1 : 1000 und die Höhen als Ordinaten im Maßstab 1 : 100, aufgetragen. Das dazugehörige Schriftband weicht mit den Zeilen für

- horizontale Längen der Stationspunkte,
- Kurvenrichtungen und -radien in der Horizontalprojektion,
- Steigungen (Neigungen) der Tangenten,
- Höhen der Stationspunkte,
- Höhe des geplanten Weges und
- Höhendifferenzen zwischen Gelände und geplantem Weg
(= Rote Zahl)

nicht von der Norm ab. Abb. 34 gibt den Abschnitt zwischen Station 0 und 130, bereits mit eingezeichneter Gradienten, wieder.

Im letzten Grundlagenplan mußte für jeden Stationspunkt das Geländequersprofil konstruiert werden. Hierzu wurden die Meßdaten Neigung und Streckenlänge bis jeweils zur nächsten Neigungsänderung in rechtwinklige Koordinaten umgerechnet. Die zeichnerische Darstellung erfolgte im Maßstab 1 : 100, wobei jeweils von den Stationspunkten des Geländelängenprofils als Nullpunkt ausgegangen wurde.

Mit dem Höhenplan und den Geländequersprofilen als Grundlage kann im weiteren Verlauf der Projektausarbeitung der zukünftige Wegekörper planerisch konstruiert werden (DIETZ et al., 1984). Der in diesem Zusammenhang entscheidende Planungsschritt ist das Festlegen der Gradienten = Festlegen der zukünftigen Wegehöhe. Darunter versteht man den Ausgleich des in der Regel unebenen Geländelängenprofils, der, analog zur Streckung der Nulllinie, ebenfalls mit Hilfe von Tangenten erfolgt. Die Anzahl der Tangentenschnittpunkte - hier als Knickpunkte bezeichnet - richtet sich nach der

HOLLMAIER LEITE

Längenprofil : Höhen 1:100

Längen 1:1000

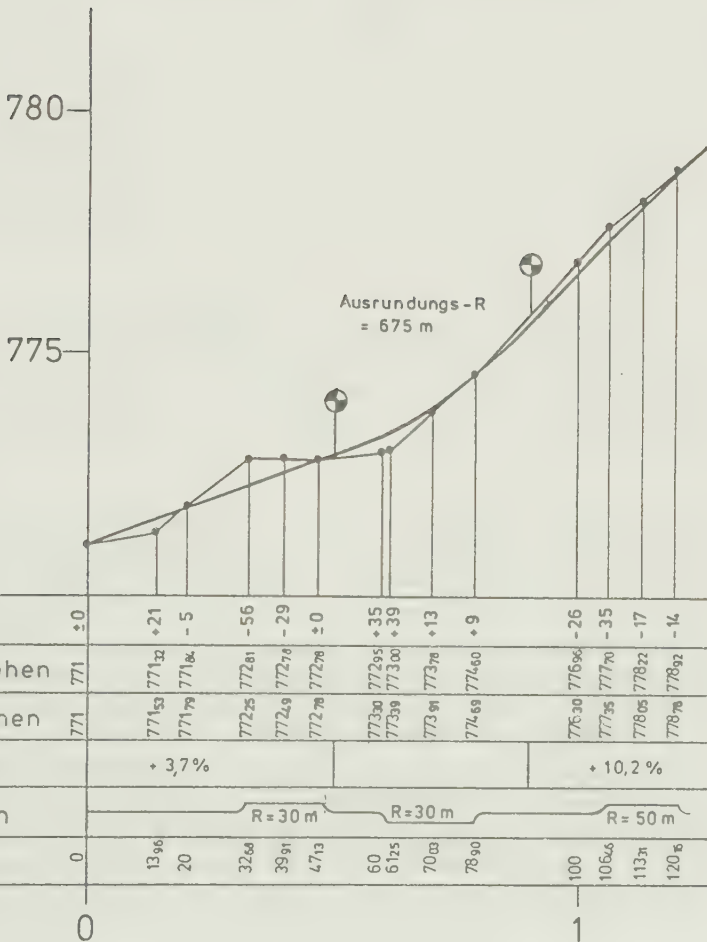


Abb.34: Ausschnitt aus dem Gelaendelaengsprofil mit
Gradiente und Schriftband

Notwendigkeit, Steigungswechsel vorzusehen. Dabei ist im Hinblick auf die künftige Verkehrssicherheit auf eine ausgeglichene Längsneigung zu achten. Ebenso müssen bei der Festlegung des zulässigen Maximalgefälles nutzungs- und wegebautechnische Aspekte berücksichtigt werden. Im konkreten Fall wurden daher maximale Neigungen bis zu 10 %, in Ausnahmefällen auf kurzen Strecken bis zu 12 % toleriert.

Eine weitere Vorgabe, die zu beachten ist, betrifft die Ausrundungsradien an den Knickpunkten. Die in den Richtlinien für den ländlichen Wegebau (RLW) angegebenen Mindestausrundungsradien von 400 m für Kuppen und 200 m für Wannen wurden im Projekt "Hollmaier Leite" in keinem Fall unterschritten. Die maximale Neigungsänderung betrug 2,18 % / 10 m ($\hat{=}$ Ausrundungsradius von ca. 460 m).

Es wurde eine Gradientenlinie mit 18 Knickpunkten unter Berücksichtigung der genannten Restriktionen festgelegt. Nach der Ausrundung der Knickpunkte konnte an den einzelnen Stationspunkten die sog. "Rote Zahl", das ist die Höhendifferenz zwischen Gelände und geplanter Straße, aus dem Höhenplan abgelesen und im Schriftband notiert werden.

Für die Erdmassenberechnung mußten die im Längenprofil ermittelten Planhöhen als Einhängpunkte für die Kunstquerprofile in die Geländequerprofile übertragen werden. Im Zuge der Planung genügt es heute, mit vereinfachten Regelquerschnitten auf der Basis des Rohplanums zu operieren, d.h. es kann beim Einzeichnen der Profile des künftigen Wegekörpers auf die Querneigung ebenso verzichtet werden wie auf die exakte Ausformung von Gräben und/oder Banketten. Man kann davon ausgehen, daß diese Maßnahmen die Erdmassendisposition nur unwesentlich verändern (vgl. auch DIETZ et al., 1984). Als ein die Erdmassenberechnung wesentlich beeinflussender Faktor muß jedoch in den Bögen bei Radien < 50 m eine Verbreiterung nach innen und bei Radien < 20 m eine beidseitige Verbreiterung vorgesehen werden. Diese wurde, einem Vorschlag von

KUONEN (1984) folgend, im vorliegenden Fall für einen mittleren Lastwagenzug nach der Formel

$$V = 20 / R$$

(8)

berechnet (V bedeutet Kurvenverbreiterung in m, R = Kurvenradius in m). Die daraus resultierende Verbreiterung schien im vorliegenden Projekt (kleinbäuerlicher Privatwald) auszureichen. Ansonsten entsprach der Regelquerschnitt den Angaben in Abb. 35.

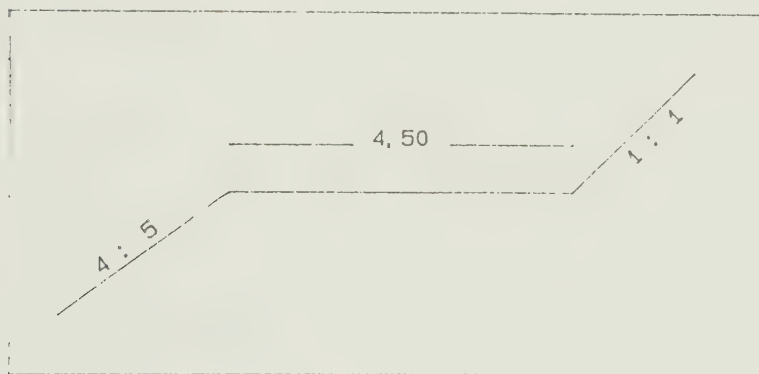


Abb.35: Regelquerschnitt

Nach dem Einzeichnen der Kunstquerprofile in die Geländequerprofile werden sowohl Abtrag als auch Auftrag als Fläche ersichtlich (vgl. Abb. 36). Diese Flächen sind für die Massenberechnung zu ermitteln. Es stehen dafür mehrere Verfahren zur Wahl, wobei OSTERLOH (1985) zunächst nach graphischen und numerischen Verfahren unterscheidet. Aus Abb. 37 ist ersichtlich, welche Methoden im einzelnen angewandt werden können.

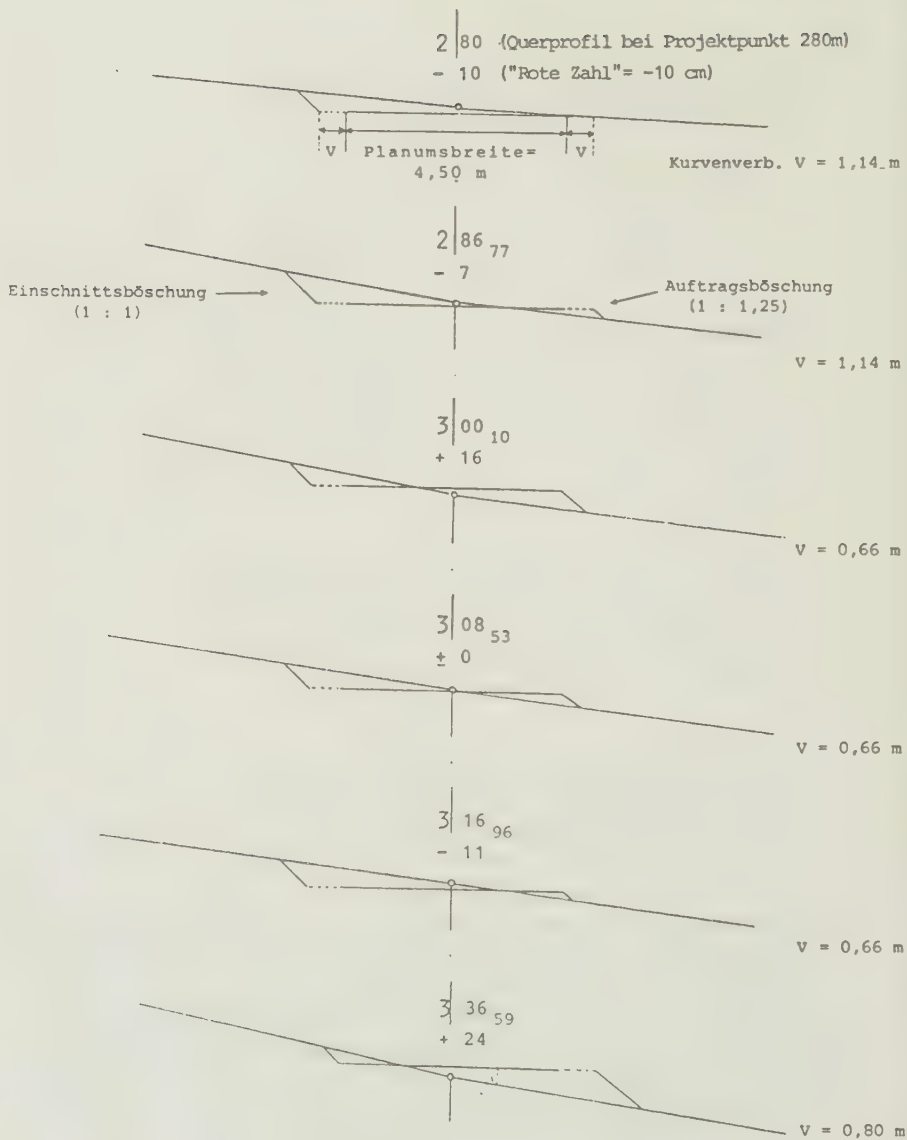


Abb.36: Querprofile fuer die Stationen 280 bis 336,59

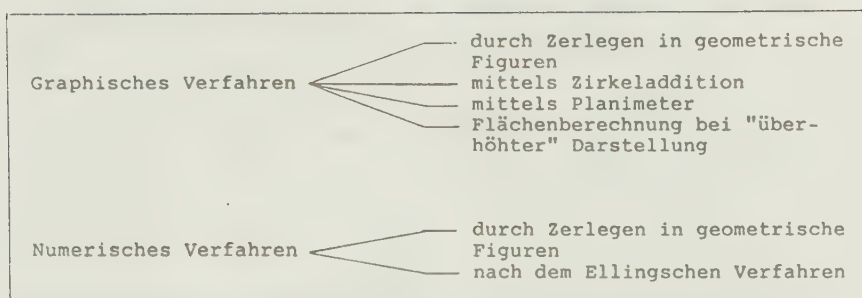


Abb.37: Methoden zur Flaechenermittlung bei der Erdmassenberechnung (nach OSTERLOH, 1985)

Da die Querprofile in der Regel auf Millimeterpapier gezeichnet werden, hat sich die graphische Flächenberechnung mittels Zirkeladdition (= Prinzip der Planimeterharfe) als besonders zweckmäßiges Verfahren herausgestellt. Dabei wird die zu messende Fläche in gleichbleibende Parallelstreifen unterteilt und werden deren Gesamtlänge gemessen. Länge mal Streifenbreite ergibt den Flächeninhalt. Bei Querschnittflächen von Straßen im Maßstab 1 : 100 nimmt man allgemein eine Streifenbreite von 1 m (vgl. auch OSTERLOH, 1985).

Kontrollrechnungen mit Hilfe der ELLINGSCHEN Methode, zu deren Anwendung die Auftrags- und Abtragsflächen innerhalb jedes Profils mit dem Cursor des Digitizers umfahren und die Flächengröße mit dem bereits im Rahmen des Datenbankentwurfs beschriebenen Flächenberechnungsprogramms ermittelt wurden, haben gezeigt, daß, wie auch Tabelle 16 bestätigt, zwischen der graphischen und rechnerischen Herleitung der Auf- und Abtragsflächen nur geringe Differenzen bestehen. Für den späteren Vergleich zwischen manueller und computergestützter Projektierung werden daher die Ergebnisse aus dem üblicherweise benutzten Zirkeladditionsverfahren zugrunde gelegt.

Tab. 16: Abweichungen zwischen Zirkeladditionsverfahren und
ELLING-Methode

Flächengröße (m ²) (Auftrag - Abtrag)	mittlere Abweichung	
	m ²	%
1	2	3
0,5	0,02	7,7
0,5 - 1	0,05	6,1
1 - 2	0,07	5,3
2 - 3	0,07	2,8
3	0,07	2,3

Für die Erdmassenberechnung selbst, also der Ermittlung der Auf- und Abtragskubaturen, bedienen wir uns der im Forstwegebau üblichen Formel:

$$V = \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \cdot L \quad (\text{m}^3) \quad (9)$$

Dabei bedeuten:

V = Volumen des Erdkörpers

F_i = Auf- oder Abtragsfläche bei Profil Nr. i für $i = 1 - n$

F_{i+1} = Auf- oder Abtragsfläche bei Profil Nr. i+1 für $i = 1 - n$

L = Profilabstand

Zusätzlich muß berücksichtigt werden, daß beim Bau durch z.B. seitliches Wegrollen, Stockrodung, zusätzliche Verdichtung und ähnlichem immer ein gewisser Materialverlust eintritt. In der Massenberechnung wird diesem Verlust durch einen Zuschlag zum Auftrag Rechnung getragen. Er variiert je nach Hangneigung und Bodenverhältnissen zwischen 20 und 30 %. Im vorliegenden Projekt wurde der Zuschlag mit 30 % (= Faktor 1,3) angesetzt.

Die Erdmassenberechnung ergab eine Abtragssumme von 2800 m³ gegenüber einer Auftragssumme von 2640 m³. Auf den lfm Weg entfielen somit durchschnittlich 1,55 m³ Abtrag.

Neben dieser Kennziffer gibt es eine Reihe weiterer im Rahmen der Projektausarbeitung direkt anfallender oder leicht abzuleitender Zahlen, um den Verlauf einer Straße zu charakterisieren. DIETZ et al. (1984) zeigen anhand einer im öffentlichen Straßenbau üblichen Trassencharakteristik auf, wie sich Wegetrassen beschreiben lassen. Angewandt auf das Projekt "Hollmaier Leite" führt dies zu den in Tabelle 17 zusammengestellten Zahlenwerten.

Der rechnerische Massenausgleich als entscheidungsrelevantes Kriterium ließ sich im Regelfall über kurze Strecken realisieren. Allerdings mußte stellenweise mit Seitenentnahme und laufender Deponie operiert werden. Die damit verbundene Verbreiterung des Straßenkörpers kann zur Anlage von Lagerplätzen bei 140 m (Deponie von 46 m³), bei 500 m (Seitenentnahme von 33 m³), bei 850 m (Seitenentnahme von 62 m³) und bei 1210 m (Deponie von 256 m³) genutzt werden. Mit dem zum Ende des Weges hin anfallenden Erdmassenüberschuß kann ein einfacher Wendehammer angelegt werden. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte beträgt die mittlere Transportentfernung 21,5 m. Abb. 38 zeigt in Prozentwerten ausgedrückt, welcher Anteil des Abtragsvolumens innerhalb der Profile (Transportentfernung = 0 m) verwendet werden kann und welcher Anteil, differenziert nach Transportentfernungen in 10 m-Stufen, transportiert werden muß.

Abweichend von der vorgestellten Wegeprojektierung modifizierte das zuständige Forstamt während der Planungsphase die Linienführung, um den zusätzlichen Wünschen einiger Waldbesitzer nachzukommen und damit die Realisierung des Wegebaues nicht zu gefährden. Aus technischer Sicht konnte diese veränderte Linienführung nur bedingt akzeptiert werden. Als Basis für den späteren Vergleich mit der EDV-gestützten Projektierung wurden daher die ursprünglichen Ergebnisse herangezogen.

Tab. 17: Trassencharakteristik (im Anhalt an DIETZ et al., 1984)

Trassenlänge	Geraden			Bögen					Höhen			Masse- abtrag
	Anteil an Ges.-Länge	kürzeste Länge	L.D.	Anteil an Ges.-Länge	R ^o min R ^o max	R* L.D.	Zahl der Bögen	Kurvigkeit (Wendefaktor)	wirksame Längs- neigung	Bergig- keit	Wellig- keit	
m	%	m	m	%	m	m	B/km	q/km	m/km	m/km	m/km	cbm/lkm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1674	51	0,8 63,1	20,2	49	17 100	35,7	24,5	1138,9 (2,82k)	33,4	68,8	35,4	1,55

* Radius

Sp. 9: Kurvigkeit (gon/km) = Summe aller durch den Zentrivinkel ausgedrückten Richtungsänderungen ohne Differenzierung nach Rechts- und Linksbögen, geteilt durch die Streckenlänge in km.

Wendefaktor = Kurvigkeit/400; gibt an, wie oft die Trasse pro km Trassenlänge eine volle Drehung macht.

Sp. 10: Wirksame Längsneigung (m/km)

= Höhenunterschied in m zwischen Anfang und Ende der Trasse geteilt durch die Trassenlänge in km.

Sp. 11: Bergigkeit (m/km) = Gesamtheit aller im Zuge der Trasse bewältigten Höhenunterschiede (Steigungen und Gefälle) in m geteilt durch die Trassenlänge in km.

Sp. 12: Welligkeit (m/km) = Bergigkeit minus wirksamer Längsneigung.

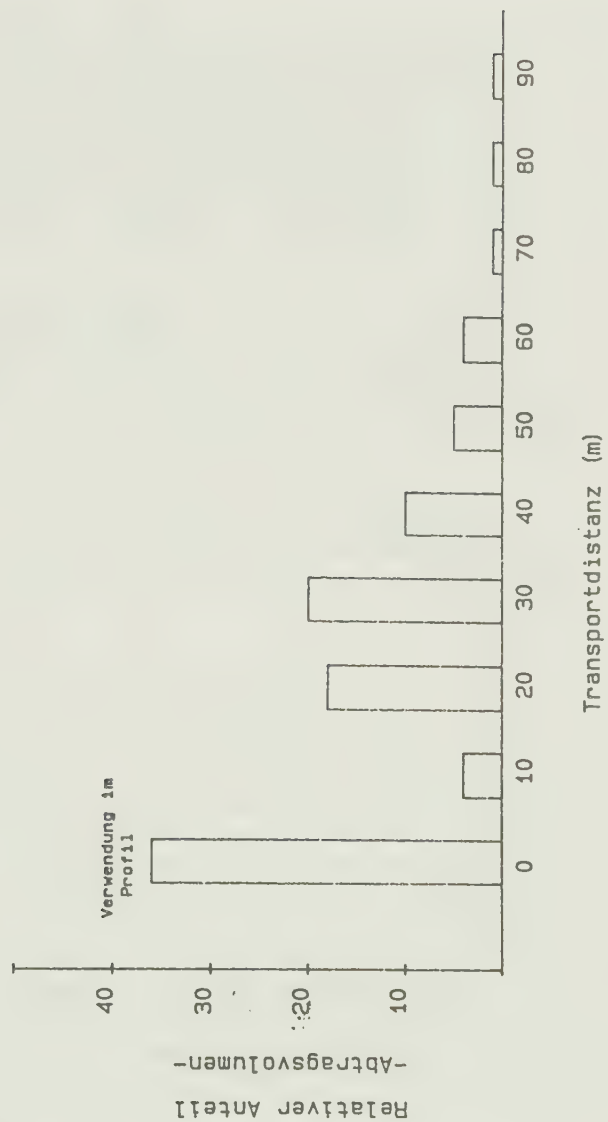


Abb.38: Transportentfernungen beim Massenausgleich

Demzufolge konnte auch der vom Forstamt erstellte Kostenvoranschlag (Anlage 2a) nur in Teilen übernommen werden. Beibehalten wurde das im Bereich der Oberforstdirektion München gültige Formblatt Nr. 6 für den "Kostenanschlag zum Bauvorhaben". Ebenso konnte auf die für die verschiedenen Teilarbeiten veranschlagten Kostensätze und die Materialkosten zum Teil zurückgegriffen werden. Im einzelnen sei hinsichtlich der eigenen Kostenkalkulation (Anlage 2b) auf folgende Punkte hingewiesen:

1. Die Kosten für die Erstellung des Rohplanums von 7 DM/lfm lassen sich in annähernd gleicher Größenordnung aus der Leistungstafel für den Wegebau der Bayerischen Staatsforstverwaltung und dem vom Maschinenbetrieb der Oberforstdirektion München vorgegebenen Kostensatz für eine Planierraupe herleiten.
2. Für das Rohplanum wurde die Verdichtung mit einer Vibrationswalze vorgesehen. Bei einer Leistung von etwa 300 m²/Std. und einem Kostensatz von 95 DM/Std. müssen zusätzlich 2385 DM aufgewendet werden.
3. Die Kosten für das "Eindaxen" wurden übernommen.
4. Der Bedarf an Tragschichtmaterial wurde vom Forstamt zu hoch eingeschätzt. Bei einer Verdichtung des Rohplanums reichen bei einer Wegebreite von 3,50 m ca. 2,3 cbm Tragschichtmaterial pro lfm aus. Diesem Wert liegt ein Verformungsmodul E_{v2} von 15 MN/m² und damit eine Tragschichtstärke von 50 cm im verdichteten Zustand zu Grunde (vgl. Dimensionierungsdiagramm in Anlage 2c). Auch der Vergleich mit dem in der Datenbank abgelegten "PLAN: DIMENSIONIERUNG" zeigt, daß im Bereich der Trasse eine Tragschichtstärke von 50 cm in jedem Fall ausreicht.
5. Die Kosten für das Aufbringen einer Verschleißdecke wurden beibehalten.

6. Die Kosten für die Entwässerung wurden im Vergleich zum Forstamt etwas höher veranschlagt. Die Materialkosten umfassen nach unserer Kalkulation 14062 DM. Für den Einbau fallen, bei einer Leistung von 3 lfm/Std. und einem Mietsatz für den Bagger von 80 DM/Std., Kosten von 4613 DM (= 26,63 DM pro eingebauten lfm) an. Insgesamt müssen für die Entwässerungsmaßnahmen 18635 DM aufgebracht werden.
7. Auf die Holzverbauungen kann bei einer sauberen Bauausführung verzichtet werden.
8. Die Kosten für die Projektierung und die Wegstreckenentschädigung wurden wiederum übernommen.

Die nachfolgende Zusammenstellung zeigt, wie sich die Kosten aufteilen:

	<u>DM/lfm</u>	<u>%</u>
Rohbau	10,42	17
Entwässerung	11,13	18
Oberbau	37,94	61
Planung und Bauaufsicht	<u>2,33</u>	<u>4</u>
Summe	61,82	100

4 EDV-PROGRAMME FÜR DEN STRASSENBAU

Für den sogenannten "großen Straßenbau", d.h. für die Planung öffentlicher, klassifizierter Verkehrswege, gibt es inzwischen ein breites Angebot an ausgereiften EDV-Programmen. Für den forstlichen Wegebau hingegen fehlen vorerst praxistaugliche Komplettlösungen. Es liegen lediglich Programme vor, mit denen einzelne Planungsschritte computergestützt bearbeitet werden können.

4.1 FORSTSPEZIFISCHE EDV-PROGRAMME

Erste Vorschläge für die computergestützte Detailprojektierung stammen etwa aus der Zeit von Anfang bis Mitte der 70er Jahre, insbesondere verbunden mit den Namen FIDES (1971), KOBAYASHI (1973) und BURKE (1974). Inzwischen wurden weitere EDV-Programme erarbeitet, ohne allerdings eine vollständige Planung - von der Festlegung der Nulllinie bis zur Erstellung des Leistungsverzeichnisses - auf EDV-Basis zu realisieren.

Tabelle 18 vermittelt einen Überblick über die bislang bekannt gewordenen EDV-Programme für die Wegeprojektierung. Hilfsprogramme für Taschenrechner wurden in den Vergleich nicht mit einbezogen.

Im Hinblick auf den Entwurf eines eigenen Programmpakets für Mikrocomputer in der Programmiersprache BASIC wurde die vorhandene Software zunächst auf folgende Kriterien hin analysiert und gegenübergestellt:

- Anforderungen an die Geräteausstattung,
- Programmiersprache,
- Verfügbarkeit von Programm-Listings,
- Möglichkeit eines direkten Programmtests.

Tabelle 18: EDV-Programme für die Projektierung beim Forstwegebau

Programm		Geräte- ausstattung	Programmier- sprache	Programm- Listings?	Programmtest möglich?
von	Jahr				
1	2	3	4	5	6
FIDES	1971	Großrechner	FORTRAN IV	nein	ja
KOBAYASHI	1973	Großrechner	FORTRAN IV	ja	nein
BURKE	1974	Mikrocomputer	BASIC	ja	nein
RAAFATNIA*	1978	-	-	-	(ja)
WRIGHT	1984	Mikrocomputer	BASIC	nein	nein
DYKSTRA/ ABELI	1982/ 1985	Mikrocomputer	BASIC	nein	nein

* mit einfacher Statistik-Software nachvollziehbar

Die Fragen, welche Teilaufgaben mit Hilfe der genannten Programme computergestützt bearbeitet, welche Programmteile evtl. adaptiert und welche Folgerungen für die eigenen Programmierarbeiten abgeleitet werden können, werden nachfolgend diskutiert. Die Abfolge orientiert sich am Zeitpunkt der Programmerstellung.

4.1.1 .Das FIDES-Programm "WALD"

Das bereits 1971 der Öffentlichkeit vorgestellte FIDES-Programm "WALD" ist derzeit im mitteleuropäischen Raum das einzige für die Praxis zugängliche und anwendbare EDV-Programm speziell für die Projektausarbeitung im Forststraßenbau. Maßgeblich beteiligt an der Entwicklung war neben dem FIDES-Rechenzentrum der gleichnamigen Treuhandgesellschaft der Fachbereich Forstliches Ingenieurwesen der ETH Zürich (Prof. Dr. V. Kuonen). In einer Kurzbeschreibung (FIDES, 1980, S. 1) wird das Programm wie folgt charakterisiert:

"Das Programm "WALD" bietet dem Ingenieur eine ausgezeichnete Projektierungshilfe bei der Ausarbeitung von Detailprojekten für Sekundärstraßen (Wald-, Güterstraßen) und wurde speziell an diese Bedürfnisse angepaßt. So wurde auf eine einfache und formatfreie Dateneingabe geachtet, die es erlaubt, die Angaben aus dem Feldbuch direkt zu übernehmen. Ebenso wurde das Programm darauf ausgerichtet, daß es in Berechnungsart, Ausgabe und zeitlichem Ablauf der Handrechnung entspricht."

Da die Benutzung des FIDES-Programmes als Serviceleistung auch in den Filialen des FIDES-Rechenzentrums, wie im vorliegenden Fall in München, angeboten wird, konnte für das Untersuchungsgebiet "Hollmaier Leite" direkt geprüft werden, wie das Programm abläuft, welche Vorteile die Anwendung bringt, wie weit die Ergebnisse aus klassischer und computergestützter Projektausarbeitung übereinstimmen und welche Folgerungen für ein eigenes Programmpaket daraus gezogen werden können.

Das FIDES-Programm "WALD" dient ausschließlich als Rechen- und Zeichenhilfe im Büro. Alle Planungsaufgaben müssen vom Fachmann (Forst-Ingenieur, Dipl.-Forstwirt) durchgeführt werden. Dies gilt auch für die Geländearbeiten, die weiterhin in der herkömmlichen Art zu erledigen sind. Als entscheidender Nachteil ist zu werten, daß die Programmanwendung nicht im Dialog zwischen Rechner und Planer abläuft, sondern Änderungen der Linienführung erst nach Abschluß der Berechnungen und Zeichnungen für einen bestimmten Wegeabschnitt möglich sind.

Als Vorarbeit für die Programmbenutzung ist es zweckmäßig, die Daten aus den Feldaufnahmen in EDV-gerechte Formblätter zu übertragen. Der Programmablauf verlangt zunächst die sog. Stationierungsliste mit den Daten:

- Profilnummern,
- Zwischendistanzen zwischen den Profilen,
- Geländehöhen der Profilpunkte,
- Kurvenradien und Richtung der Kurven,
- Polygon- (bzw. Tangenten-) Winkel

sowie die Liste mit Angaben zu den Geländequerprofilen mit

- Normalprofiltypen,
- Profilnummer (= Stationspunkt),
- Verlauf der Terrainlinie senkrecht zur Straßenachse in jedem Profil.

Mit dem Normalprofiltyp (n) werden die wesentlichen Parameter des späteren Straßenquerprofils vorgegeben. Pro Projekt sind 4 "Normtypen" möglich. Tabelle 19 zeigt den Normtyp für das Projekt "Hollmaier Leite".

Tabelle 19: FIDES-Programm "WALD" - Normalprofil für das Projekt "Hollmaier Leite"

n	Breite	Obau	BaD	BaE	BÖD	BÖE	MaD	MaE	Ver	Kur
1	4,5	0	0	0	0,8	1	0	0	1,3	3

Um die Vergleichbarkeit mit der klassischen Projektausarbeitung zu wahren, wurden mit einer Straßenbreite (Breite) von 4,50 m, Böschungsverhältnissen von 1:1 im Einschnitt (BÖE) und von 4:5 in der Auffüllung (BÖD), einem Faktor für Abrollverlust und Auflockerung (Ver) von 1,3 und einer Kurvenverbreiterung (Kur) nach der Formel $V = 20/R$ die gleichen Querprofilparameter vorgegeben. Oberbaumaßnahmen (Obau) und die Ausformung von berg- und talseitigen Banketten (BaE, BaD) blieben in diesem Planungsabschnitt unberücksichtigt. Mauerwerke (MaD, MaE) konnten im Untersuchungsgebiet von vorneherein ausgeschlossen werden.

Die Querprofildaten selbst können auf zwei verschiedene Arten eingegeben werden (KUONEN, 1982): Das erste Verfahren geht vom Koordinatenursprung aus und verarbeitet direkt die gemessenen Werte Horizontalentfernung und Höhendifferenz. Beim zweiten Verfahren werden die Querprofildaten von links nach rechts durch die Koordi-

naten von Geländepunkten eingegeben. Der Achspunkt befindet sich in beiden Fällen im Koordinatenursprung. Für den Test des Programmes wurde auf Grund der besseren Übersichtlichkeit die zweite Möglichkeit der Dateneingabe gewählt.

Um die Gradienten festlegen zu können, benötigt das Programm als letzte Vorgabe die Stationslängen der Knickpunkte, deren Geländehöhen und die Ausrundungsfaktoren. Diese wurden ebenfalls von der klassischen Projektierung übernommen.

Der Testlauf wurde nicht für das gesamte Projekt, sondern für eine Teilstrecke von 1000 m Länge durchgeführt. Damit lag die Höhendifferenz der Stationspunkte bei einem Zeichenmaßstab von 1 : 100 : 1000 noch innerhalb der Zeichenbreite des Plotters. Auf eine Unterteilung des Projektes in mehrere Sektionen konnte daher verzichtet werden. Im übrigen reichte diese reduzierte Strecke für einen Vergleich der klassischen mit der computer-gestützten Projektierung aus.

Die Kosten für die Berechnung von 1000 m Straße beliefen sich bei 3 Rechendurchgängen auf ca. 2300 DM (= 2,30 DM/lfm), wobei allerdings die Daten selbst eingegeben wurden und für die Berechnungen der günstige Wochenendtarif (50 % des Normaltarifs) ausgenutzt wurde. Wie weit sich der Zeitaufwand des Planers gegenüber der klassischen Projektierung reduziert, konnte aufgrund der dort zusätzlich durchgeführten Berechnungen nicht festgestellt werden. Nach Angaben aus der Literatur (BOTT, 1978; DIETZ et al., 1984) verringert sich der Planungsaufwand um ca. 40 - 50 %.

Die Bezeichnungen der vom Computer erstellten Ergebnislisten und Zeichnungen sind in Tabelle 20 zusammengefaßt.

Mit den Berechnungen zum "LÄNGENPROFIL" wird die Grundlage geschaffen für die Zeichnung der Gradienten und damit für die Ermittlung der Höhendifferenzen zwischen Gradienten und Geländelängenprofil.

Tabelle 20: FIDES-Programm - Ergebnislisten und Zeichnungen

Ergebnislisten	Zeichnungen
1	2
Berechnung Längenprofil	Geländelängenprofil
- Gradiente - Anfang und Ende der Ausrundung - Höhendifferenzen zwischen Gradiente und Geländelängenprofil	Gradiente
Berechnung Querprofil	Querprofile (Gelände + Straße)
Erdmassenberechnung	Massenprofil

Im Berechnungsprogramm "QUERPROFIL" werden für die Einhängung der Kunstquerprofile in die Geländequerprofile mit den zuvor errechneten Planhöhen die rechtwinkligen Koordinaten der Eckpunkte der Kunstquerprofile (Böschungsbeginn, Böschungsende) ermittelt. Zu diesem Zweck wird senkrecht zur Wegeachse eine Hilfslinie, die das Geländequerprofil im Nullpunkt schneidet, als x-Achse eingelegt. Darüber hinaus wird die Kurvenverbreiterung und ebenfalls in Abhängigkeit vom Kurvenradius eine Querneigung der Fahrbahn errechnet. Es ist zu beachten, daß bei den weiteren Berechnungen auch bei Kurvenradien zwischen 20 und 50 m von einer beidseitigen Kurvenverbreiterung ausgegangen und die Querneigung der Fahrbahn in den Kurven berücksichtigt wird. In der Zeichenroutine für die Querprofile werden diese Parameter ebenfalls beachtet.

Bei der Erdmassenberechnung werden analog zur klassischen Projektierung jeweils zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stationspunkten

die Auftrags- und Abtragsmassen ermittelt. Daraus wird abgeleitet, ob die Erdmassen an Ort und Stelle Verwendung finden können, oder ob Längstransport entweder nach einem Einschnitt oder für eine Dammauffüllung erforderlich ist. Diese Aufteilung läßt Aussagen zur jeweiligen Massendisposition zu, die wiederum als Grundlage für die Zeichnung des Massenprofils dient.

Die gesamten Berechnungen werden abgeschlossen mit der Gegenüberstellung von Gesamtabtrags- und Gesamtauftragsmasse, quasi als Entscheidungskriterium für oder gegen eine Gradientenlage.

Tabelle 21 weist aus, daß die Ergebnisse aus der Erdmassenberechnung zwischen der computergestützten und der klassischen Methode ganz erheblich differieren. Wie die Prüfung der Einzelergebnisse zeigte, sind diese Unterschiede im wesentlichen auf die grundsätzlich beidseitige Kurvenverbreiterung und das zusätzlich einbezogene Kurvenquergefälle innerhalb des FIDES-Programmes zurückzuführen.

Tabelle 21: FIDES-Programm - Gegenüberstellung der Ergebnisse aus der klassischen und computergestützten Projektierung (Erdmassenberechnung)

	klassische Projektierung (= 100 %)	computergestützte Projektierung	Abweichung (3) gegen- über (2) in %
1	2	3	4
Abtrag total	1019,06 m³	1159,00 m³	+ 14
Auftrag total	1085,00 m³	1356,90 m³	+ 25

Da Programm-Listings nicht zugänglich waren, konnten nur aus der allgemeinen Programmbeschreibung und den Ergebnisausdrucken Hinweise und Anregungen für die eigene Arbeit entnommen werden. Hierzu zählt in erster Linie die von KUONEN (1983) ausführlich beschriebene Methode zur Ausrundung der Knickpunkte. Auf den entsprechenden Algorithmus wird in Abschnitt 5 näher eingegangen. Daneben sind die Übersichtlichkeit der Ergebnis-Outputs und der geplotteten Pläne als vorbildlich zu bezeichnen. Wir entschieden uns daher für eine ähnliche Form der Darstellung.

4.1.2 Die EDV-Anwendung in Japan

Die Arbeiten konzentrierten sich bislang, wie bereits angedeutet, vor allem auf die Gestaltung 3-dimensionaler Geländemodelle (YAMAMOTO et al., 1981; SHIBA et al., 1982, 1983). Mit dem Computereinsatz für die Wegeprojektierung setzte sich bisher nur KOBAYASHI (1973) intensiver auseinander. Soweit aus der Literatur und den Programm-Listings zu entnehmen ist, befaßte er sich mit folgenden Schwerpunkten:

1. Anhand von bereits realisierten Wegeprojekten wurden Beziehungen zwischen bestimmten Wegeparametern ermittelt, in erster Linie mit dem Ziel, nach der Vorgabe von Tangentenwinkeln mit Hilfe einer Regressionsgleichung auf die Kurvenradien schließen zu können.
2. Für die Erdmassenberechnung wurden verschiedene Alternativen in Ansatz gebracht mit dem Hintergrund, Massenausgleich möglichst innerhalb des Querprofils erreichen zu können.

Im Hinblick auf die eigenen Arbeiten scheint die streng vorgegebene Abhängigkeit zwischen Tangentenwinkel und Kurvenradien die Variationsmöglichkeiten bei der Planung der Wegeachse zu sehr einzuschränken. Dieser Weg wurde daher nicht weiter verfolgt.

Bei der Erdmassenberechnung versuchte KOBAYASHI zunächst, das Geländelängenprofil durch Regressionslinien auszugleichen, ein Ansatz, der im übrigen später von RAAFATNIA (siehe Kapitel 4.1.4) aufgegriffen und erweitert wurde. Im weiteren ermittelte er im Längsprofil die Auftrags- und Abtragsflächen (oberhalb und unterhalb der Gradienten) mit Hilfe der Integralrechnung, um iterativ festzustellen, wie die Gradientenlage für einen Massenausgleich verändert werden muß. Beide Vorgehensweisen wurden offenbar sehr schnell wieder verworfen.

Schließlich schlug KOBAYASHI eine Methode vor, die es erlaubt, durch individuelle Horizontalverschiebung der Achse in jedem Querprofil Massenausgleich zu erzielen. Diese Verschiebung bedeutet jedoch letztendlich einen Rückschritt zum Nulllinienpolygon. Für die praktische Anwendung scheint daher dieser mehr mathematisch-theoretische Ansatz nicht geeignet.

4.1.3 Das BURKE-Programm

Das 1974 von BURKE für den US Forest Service entwickelte Programmsystem war das erste in seiner Art für Mikrocomputer. Bis heute entspricht das Programm auf Grund der modularen Struktur und der erforderlichen Geräteausstattung am ehesten unseren Vorstellungen für eine praxistaugliche Planungs-Software.

Für die eigenen Programmierarbeiten lieferte das BURKE-Programm zahlreiche Ansatzpunkte. Ein Unterprogramm konnte sogar teilweise adaptiert werden. Zur besseren Übersicht wird nachfolgend jeweils bei den einzelnen Subroutinen darauf hingewiesen, welcher Nutzen für unser Programmsystem abgeleitet werden konnte.

Der Anwender kann schrittweise vorgehen, wobei es möglich ist, die Teilprogramme bereits über ein einfaches KEY-Tasten-System in den Computer zu laden.

Mit der ersten Subroutine kann auf einer großmaßstäblichen topographischen Karte über ein Digitalisiertablett die Nulllinie geplant und anschließend mit Hilfe eines Plotters gezeichnet werden. Von der Grundkonzeption her entspricht dieses Teilprogramm einem computergestützten Zirkelschrittverfahren. Es konnte nach geringfügigen Änderungen und Erweiterungen in das eigene Programmsystem eingebaut werden. Auf eine detaillierte Erläuterung wird deshalb hier verzichtet.

Im zweiten Schritt wird, ebenfalls auf dem Digitizer, die Wegeachse im engen Anhalt an die geplottete Nulllinie auf der topographischen Karte lagemäßig fixiert. Dazu werden die Tangentenschnittpunkte digitalisiert und nach Vorgabe von Kurvenradien und -richtungen die Bögen ausgerundet. Der dafür verwendete Algorithmus entstammt dem klassischen Straßenbau in den USA, d.h. es werden über die Ausrundung mit Kreisbögen hinaus Übergangsbögen (= Klothoide) eingelegt. Dieses Verfahren entspricht nicht dem in Mitteleuropa beim Forstwegbau üblichen Vorgehen. Eine Adaption schied daher aus. Wertvolle Hinweise ergaben sich jedoch für den Programmaufbau, insbesondere im Hinblick auf die kombinierte Dateneingabe über Digitizer (Tangentenschnittpunkte) und Tastatur (Kurvenradien und -richtungen).

Abweichend vom eigenen Programmsystem, bei dem - wie noch zu zeigen sein wird - die Höhen der Stationspunkte auf der Basis eines 3-dimensionalen Geländemodells errechnet werden, schlägt BURKE als Ersatz für die Hektometrierung und das Nivellement vor, zunächst die Schnittpunkte der Wegeachse mit den Höhenschichtlinien zu digitalisieren. Als erste Eingangsgröße für die Zeichnung des Geländelängenprofils können aus den x-,y-Koordinaten dieser Schnittpunkte die Stationslängen berechnet werden. Um die Stationshöhen zu erhalten, wird abschnittsweise festgelegt, ob der zukünftige Weg eine Steigung oder ein Gefälle aufweist. Bei einem konstanten Schichtlinienabstand können für den jeweiligen Wegeabschnitt nach Vorgabe der Höhe des ersten Schnittpunktes der Wegeachse mit einer Schicht-

linie die nachfolgenden Stationshöhen über einen Zählfaktor ermittelt werden.

Der Algorithmus für die Festlegung der Gradienten incl. Aufrundung der Knickpunkte, der im übrigen ebenfalls vom klassischen Straßenbau übernommen wurde, entspricht z.T. dem von KUONEN (1983) für das FIDES-Programm empfohlenen Verfahren. Da letzteres bereits als adaptionswürdig eingestuft und nachvollzogen wurde, konnten aus dem Programm-Listing weitere Anregungen für das Programm-Gerüst entnommen werden.

Das letzte Teilprogramm umfaßt die Beschreibung des Geländes links und rechts zur Straße, das Einhängen der Kunstquerprofile in diese Geländequerprofile und die Erdmassenberechnung.

Das Gelände wird stark vereinfacht mit Hilfe durchschnittlicher Hangneigungen charakterisiert. Zu diesem Zweck müssen für längere Wegeabschnitte konstante Werte vorgegeben werden, da der Programmaufbau innerhalb eines Projektes maximal 20 Neigungsänderungen zuläßt.

Für das Einlegen der Straßenquerprofile muß zunächst der Straßenkörper definiert werden. Dies geschieht durch die Eingabe der gewünschten Straßenbreite sowie der berg- und talseitigen Böschungsverhältnisse. Die ebenso benötigte Höhendifferenz zwischen Gradienten und Geländelängenprofil wird aus der Subroutine für die Gradientenfestlegung übernommen.

Die Erdmassenberechnung erfolgt nach einer approximativen Vorgehensweise, die im Anhalt an OSTERLOH (1985) als eine Kombination zwischen einem graphischen und einem numerischen Verfahren bezeichnet werden kann. Die Auf- und Abtragsflächen werden durch Halbierung zweier Rechtecksflächen, deren Seitenlängen über verschiedene trigonometrische Zusammenhänge errechnet werden, näherungsweise bestimmt. Die eigentlichen Auftrags- und Abtragsmassen

werden wiederum nach der bereits bekannten Formel

$$\frac{1}{2} \cdot (F_i + F_{i+1}) \cdot \text{Stations-Abstand} \quad (10)$$

ermittelt. Der Grund für die Anwendung dieser sehr einfachen Näherungsmethode dürfte auf die zum Zeitpunkt der Programmerstellung eingeschränkte Arbeitsspeicherkapazität von Mikrocomputern zurückzuführen sein. Nachdem heute komfortablere Flächenberechnungsprogramme benutzt werden können, wurde dieser Vorschlag für die Erdmassenberechnung nicht aufgegriffen.

Das Programm von BURKE wird ähnlich wie das FIDES-Programm mit der Erstellung des Massenprofils abgeschlossen.

4.1.4 Optimierung der Gradientenfestlegung

Mit dieser Fragestellung setzte sich erstmals - zumindest was den Forstwegebau anbelangt - RAAFATNIA (1978) in seiner Dissertation intensiver auseinander.

Er erarbeitete zunächst ein Rechenmodell, mit dem an Hand verschiedener trigonometrischer Beziehungen geprüft werden kann, wie sich bestimmte Kenngrößen - von besonderem Interesse sind die Abtrags- und Auftragsflächen - bei der Variation von Kronenbreite, Böschungswinkel und Zuschlag zum Auftrag bei unterschiedlichen Geländeneigungswinkeln verhalten. Dieser Modellansatz wurde dahingehend erweitert, daß ausgehend von der Prämisse, Massenausgleich mit Quertransport zu erzielen, die erforderlichen Einschnitt- ($a_{1\text{erf.}}$) und Dammbreiten ($a_{2\text{erf.}}$) bei Vorgabe eines definierten Straßenkörpers errechnet werden können. Die ermittelten Werte bilden die Basis für die Festlegung der erforderlichen Vertikalverschiebung (Z). Abb. 39 stellt das von RAAFATNIA entwickelte Modell graphisch vor.

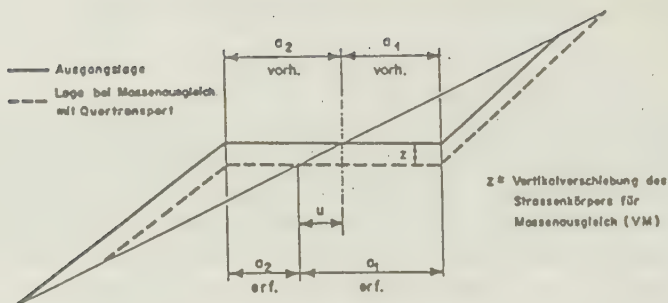


Abb.39: Senkrechte Verschiebung des Strassenkörpers zur Erreichung des Massenausgleichs (nach RAAFATNIA, 1978)

Eine ebenfalls mögliche Horizontalverschiebung der Wegeachse wurde von Anfang an nicht in Betracht gezogen, da der damit verbundene Mehraufwand bei der Planung als zu hoch eingeschätzt wurde.

Die Tabelle 22 weist aus, in welcher Größenordnung Vertikalverschiebungen (z) bei verschiedenen Hangneigungen vorzunehmen sind. Den Werten liegen, entsprechend den bei der klassischen Projektierung verwendeten Kunstquerprofilen, eine Kronenbreite von 4,50 m, Böschungsverhältnisse talseits von 4 : 5 und bergseits von 1 : 1 und ein Zuschlag zum Auftrag von 30 % zugrunde.

Von der Tatsache ausgehend, daß sich ein Massenausgleich mit Quertransport nur in Ausnahmefällen realisieren läßt, d.h. Massenausgleich i.d.R. nur mit Längstransport erreichbar ist, verknüpfte RAAFATNIA bei seinen weiteren Bestrebungen in Richtung Optimierung der Gradientenlage die Erkenntnisse aus den Berechnungen im Querprofil mit einer Methode der einfachen linearen Regressionsrechnung.

Tabelle 22: Vertikalverschiebung z (cm) bei verschiedenen Hangneigungen (vgl. RAAFATNIA, 1978)

Hangneigung	Vertikalverschiebung
%	cm
1	2
10	4
20	8
30	14
40	20
50	28
60	40
70	62

Dazu müssen im Geländelängsprofil zunächst Abschnitte mit mehr oder weniger gleichen Längsneigungen ausgeschieden werden, was im Grunde genommen einer provisorischen Festlegung von Knickpunkten gleichzusetzen ist. Für die Wegeabschnitte zwischen den Knickpunkten kann mit Hilfe der Regressionsrechnung eine sogenannte mittlere Linie errechnet werden, die bei der Vorgabe der Längen der Stationspunkte als unabhängige und deren Höhen als abhängige Variable dadurch gekennzeichnet ist, daß die Summe der Quadrate der Abstände der Terrainpunkte von dieser Linie zum Minimum wird. Die Forderung nach einem minimalen Abtrag wird dadurch erfüllt. Ein Massenausgleich wird dagegen mit dieser mittleren Linie nur bei gleichen Böschungsneigungen in Damm und Einschnitt und ohne Zuschlag zum Auftrag erreicht.

Der nächste Schritt beinhaltet daher, analog zu den Berechnungen im Querprofil, die Ermittlung des Faktors z für die Vertikalverschiebung. Als Eingangsgröße in die Tabelle muß bei vorgegebenem Kunstquerprofil für den zu verschiebenden Achsabschnitt eine repräsentative Hangneigung vorgegeben werden. Dieses Vorgehen be-

wirkt im Regelfall für alle Gradientenabschnitte eine Verlagerung nach unten mit der definitiven Festlegung der Knickpunkte. Der neue Verlauf charakterisiert die optimale Gradientenlage, die dann als Grundlage für die weitere Ausarbeitung des Detailprojektes dient.

Den Überlegungen von RAAFATNIA gebührt insbesondere Aufmerksamkeit bezüglich der Rechenmodelle zu den Querprofilen, die deutlich aufzeigen, wie sich die Veränderung von Planungsparametern, wie etwa der Kronenbreite oder der Böschungswinkel, letztendlich auf das Bild des Straßenkörpers im Gelände auswirken.

Der Ansatz zur Gradientenoptimierung kann dagegen nur als erste Annäherung eingestuft werden, die mit folgenden Schwächen behaftet ist:

- Für die Vertikalverschiebung z muß für einen bestimmten Streckenabschnitt eine konstante Hangneigung vorgegeben werden. Dadurch findet die tatsächliche Geländeausformung links und rechts der Straße während des Optimierungsprozesses keinen oder nur einen zu geringen Niederschlag.
- Der veränderte Gradientenverlauf nach Ausrundung der Knickpunkte bleibt bei der Festlegung der optimalen Gradienten unberücksichtigt.

Aus diesen Gründen und da die Gradientenoptimierung ebenfalls eine Festlegung von provisorischen Knickpunkten verlangt, scheint es sinnvoller zu sein, die Knickpunkte in klassischer Weise festzulegen, anschließend rechnergestützt auszurunden und den Prozeß mit einer differenzierten, ebenfalls programmierten Erdmassenberechnung abzuschließen. Mit diesem Resultat kann die Gradientenlage beurteilt, ggf. geändert und mit Hilfe des Rechners ohne großen Aufwand neu berechnet werden.

Ein Einbau des Rechenmodells von RAAFATNIA zur Gradientenoptimierung in das eigene Programmsystem wurde nicht vorgesehen.

4.1.5 Das Forest Level Road Design System (FLRDS)

Das von WRIGHT (1984) erstellte FLRDS repräsentiert den aktuellen Stand der Software-Entwicklung für die Wegeprojektierung in den USA. Ein Vergleich mit den anderen bislang vorgestellten Programmen zeigt, daß, ähnlich wie beim FIDES-Programm, die Grundkonzeption verfolgt wird, die Feldarbeiten in traditioneller Weise und die Projektausarbeitung im Büro computergestützt durchzuführen. Die Implementierung auf leistungsfähige Mikrocomputer dürfte auf Grund dieser Einschränkung kein Problem darstellen.

Für die Anwendung des Programmes steht dem Planer ein differenziertes und logisch gegliedertes Programm-Management-System zur Verfügung, mit dessen Unterstützung über Bildschirm-Menues und numerische Codes sowohl die gewünschten Subroutinen geladen als auch fixe Planungsdaten, wie etwa die Beschreibung des Straßenkörpers, vorgegeben werden können.

Die Daten aus den Feldaufnahmen können jeweils bei den einzelnen Unterprogrammen entweder über die Tastatur eingegeben oder bei Benutzung mobiler Datenerfassungsgeräte direkt in den Rechner überspielt werden. Entsprechende Schnittstellen sind vorgesehen.

Das Vorgehen bei den einzelnen Planungsschritten orientiert sich an der in den USA üblichen klassischen Methode (vgl. auch STENZEL et al., 1985). Ausgehend von einer im Gelände mit Horizontalabständen, Streichwinkel und Neigungsverhältnissen aufgenommenen sog. P-Line ($\hat{=}$ einer gestreckten Nulllinie), wird nach Umrechnung der Polarkoordinaten in rechtwinklige Koordinaten zunächst der vorläufige Verlauf der zukünftigen Straße in Horizontalprojektion geplottet. Dieses Programm ist auf maximal 650 Stationspunkte ausgelegt. Die Linienführung in Vertikalprojektion kann über die Neigungsverhältnisse und die Horizontalabstände zwischen den Achsenpunkten nachvollzogen werden.

Für die weitere Planung werden die ebenfalls im Gelände erfaßten Geländequersprofile geplottet und die Kunstquersprofile, ausgehend von der P-Line als Wegemittellinie, eingelegt. An den einzelnen Querprofilen wird entschieden, ob und wie weit die Achse horizontal verschoben werden muß, um innerhalb des Profils annähernd Massenausgleich zu erzielen. Die Auftrags- und Abtragsflächen werden mit dem für Rechenanlagen üblichen Koordinatenverfahren (= Flächenformel nach ELLING) berechnet, eine Methode, die bereits im Abschnitt 2.6.2 für die Flächenberechnung benutzt und dort näher beschrieben wurde.

Für die neu festgelegte Wegeachse (= L-Line) werden nach Vorgabe des Faktors für die seitliche Verschiebung jeweils aus den Querprofilen die neuen Stationshöhen rechnergestützt ermittelt und anschließend als Längenprofil dargestellt. Eine Gradientenfestlegung ist nicht vorgesehen, sondern es wird lediglich an besonders kritischen Stellen eine Vertikalverschiebung der L-Line vorgenommen. Die Kunstquersprofile werden um diesen Vertikalfaktor verschoben und es wird wiederum geprüft, ob Massenausgleich erzielt werden kann. Eventuell ist daraufhin eine erneute Veränderung in horizontaler Richtung erforderlich. Die horizontale und vertikale Achsverschiebung wird wechselweise so oft wiederholt, bis die Linienführung als zufriedenstellend beurteilt wird.

Unseren Anforderungen kann das Programmsystem von WRIGHT nicht genügen, wobei nicht etwa die andere Vorgehensweise den Ausschlag gibt, sondern der Mangel, daß weder in der Horizontal- noch in der Vertikalprojektion eine Ausrundung von Tangentenschnittpunkten oder Knickpunkten mit Hilfe des Computers vorgesehen ist. Zumindest wird dies in der Programmbeschreibung mit keinem Wort erwähnt.

Da auch zu der Erdmassenberechnung, wie etwa zur Ermittlung der Koordinaten der Eckpunkte der Auf- und Abtragsflächen, keine detaillierten Angaben gemacht werden, ließen sich für den Aufbau

eines eigenen Programms lediglich Anregungen für die Gestaltung und Strukturierung von Bildschirmmenues entnehmen.

4.1.6 Die lineare Optimierung für den Erdmassenausgleich

Bei den klassischen Planungsmethoden verlangen die Berechnungen bis hin zum optimalen Erdmassenausgleich einen enorm hohen Zeitaufwand. Insbesondere DYKSTRA (1982) und darauf aufbauend ABELI (1985) erarbeiteten in jüngerer Zeit für den forstlichen Wegebau Vorschläge, die lineare Optimierung für den Erdmassenausgleich zu benutzen. Ihr Hauptaugenmerk bei den Untersuchungen lag darauf, Methoden zu unterbreiten, die sowohl ein manuelles als auch ein computergestütztes Vorgehen auf leistungsschwächeren EDV-Anlagen zulassen. Für den ersten Weg wurde mit der Nord-West-Ecken-Methode ein Verfahren aus dem Bereich der sog. Transportmethoden, für den zweiten ein vorhandenes Standardprogramm für die lineare Optimierung übernommen.

Nachfolgend wird erläutert, welches Problem im Rahmen des Optimierungsprozesses gelöst werden soll, welche Konzeption den dafür angesprochenen Methoden zu Grunde liegt und zu welchem Nutzen deren Anwendung führt. Daraus lassen sich Schlüsse ziehen, ob und ggf. wie weit die Integration der linearen Optimierung in das eigene Programmsystem anzustreben ist.

Der eigentliche Optimierungsprozeß setzt nach der Erdmassenberechnung, d.h. nach der Ermittlung der Auftrags- und Abtragskubaturen nach dem bekannten Schema ein. Damit ist die Voraussetzung für die Formulierung des Transportproblems, wie sie OHSE (1985, S. 16) benutzt, gegeben:

"Ein homogenes Gut, das an den Orten A_i , $i=1, \dots, m$, in den Mengen a_i angeboten wird, soll zu den Orten B_j , $j=1, \dots, n$, transportiert werden, an denen eine Nachfrage von b_j besteht. Die Kosten des Transports einer Mengeneinheit

(ME) von Ort A_i zum Ort B_j betragen c_{ij} . Wieviele ME sollen von A_i zum Ort B_j transportiert werden, so daß die Nachfrage erfüllt wird und die Gesamttransportkosten minimal sind?"

Von ABELI (1985) wurde zur Vereinfachung zusätzlich die Annahme getroffen, an Stelle der Transportkosten die direkt verfügbaren Transportdistanzen, die sich zu den Kosten proportional verhalten, zu verwenden. Das Optimierungsziel ist somit die Minimierung der Transportdistanz.

Das Vorgehen von DYKSTRA/ABELI läßt sich in folgende Schritte einteilen. Es sei dazu vorweg darauf hingewiesen, daß die den Ablauf der Transportmethode charakterisierenden Tabellenwerke in den Anlagen 3 a-d zusammengestellt wurden.

1. Es wird zunächst tabellarisch zusammengestellt (Anlage 3a), in welchen Straßenabschnitten (= Strecke zwischen 2 Querprofilen) Angebots- (Abtrags-) und Nachfrage- (Auftrags-) mengen auftreten.
2. Die Grundtabelle wird in eine Eingangsmatrix (Anlage 3b) für das Transportproblem transformiert. Innerhalb dieses Transporttableaus wird aufgezeigt, welche Erdmassen bei der ersten suboptimalen Lösung über welche Distanzen zu transportieren sind. Damit die Transportbilanz stimmt, wird Erdmassenüberschuß in einer zusätzlichen Spalte und Erdmassendefizit als Maß für die Seitenentnahme analog dazu in einer zusätzlichen Zeile dokumentiert. Auf letzteres hat ABELI auf Grund des bei der gewählten Linienführung erheblichen Erdmassenüberschusses von vornherein verzichtet.
3. Für die Ausgangslösung wird die durchschnittliche Transportdistanz berechnet. Als Maßstab für die Annäherung an die optimale Lösung gilt bei annähernd gleicher Anzahl von Auftrags- und Abtragsprofilen die Annäherung der Transportdistanzen an eine Diagonale, die die Matrix von links oben nach rechts unten durchzieht.

4. Mit dem in der Ausgangsmatrix erzielten Ausgleich der Transportbilanz werden alle Anforderungen des primalen Transportproblems erfüllt. Zur Feststellung der optimalen Lösung bedarf es der Einführung sogenannter Dualvariable U_i und V_j . Über den Zusammenhang

$$C_{ij} = U_i + V_j \quad (11)$$

mit C_{ij} = Transportdistanz als Substituent für die Kosten und der Möglichkeit, einen variablen Wert beliebig festzusetzen (z.B. $U_i = 0$), wird die minimale tatsächliche Transportdistanz innerhalb jeder Spalte ermittelt.

Anschließend wird für jedes Matrixfeld festgestellt, ob die Optimalitätsbedingungen

$$C_{ij} - U_i - V_j \geq 0 \quad (12)$$

erfüllt wird. Sollte dies nicht der Fall sein, so ist eine kürzere Transportdistanz, d.h. eine Verbesserung der Lösung möglich (Anlage 3c).

5. Es wird innerhalb der benachbarten Spalten und Zeilen ein Weg gesucht, die Transportmengen derart umzuschichten, daß die kürzeste Entfernung gefunden wird. Es ist darauf zu achten, daß alle Auftrags- und Abtragsrestriktionen eingehalten werden. Dieser Prozeß wird für alle Matrixfelder durchgeführt, in denen nach Schritt 4 für die Transportdistanz negative Werte auftreten. Mit der Erfüllung der Optimalitätsbedingung ist die optimale Lösung erzielt (Anlage 3d). Zum Abschluß wird die minimale mittlere Transportentfernung ermittelt.

Da ABELI (1985) in seinem Beispiel mit dem schrittweisen Vorgehen von der Ausgangsmatrix bis zur endgültigen Lösung nur eine Reduktion der mittleren Transportentfernung von 0,4 m erreicht, stellt

sich unwillkürlich die Frage, ob dieser geringe Nutzen ein derart aufwendiges Verfahren rechtfertigt. Dies gilt umsomehr, wenn keine Standardroutine für die lineare Optimierung zur Verfügung steht und der gesamte Prozess selbst zu programmieren ist. Vor dieser Situation standen wir im Hinblick auf den eigenen Programm-entwurf.

Wegen des zumindest bei Maschinenarbeit zu vernachlässigenden Vorteils entschieden wir uns dafür, auf die lineare Optimierung zu verzichten und uns auf die computergestützte Initiierung der Ausgangsmatrix zu beschränken. Damit wird für den Planer eine Beurteilungshilfe geschaffen, mit der er rasch feststellen kann, in welchem Umfang über kurze Transportdistanzen Massenausgleich erzielt werden kann und in welchem Maße Seitenentnahme oder die Deponie von Erdmassenüberschuß erforderlich ist. Nähere Ausführungen dazu können Kapitel 5.8.2 entnommen werden.

4.2 EDV-PROGRAMME FÜR DEN KLASSISCHEN STRASSENBAU

Es erschien sinnvoll, über die forstspezifische Software hinaus auch die EDV-gestützten Projektierungshilfen für den klassischen Straßenbau auf geeignete Algorithmen und Subroutinen hin zu sichten.

Die Entwicklung der EDV-gestützten Entwurfsbearbeitung im klassischen Straßenbau setzte etwa 1960 ein (KÜHN, 1984, SCHNEIDER, 1985). Zu dieser Zeit wurde damit begonnen, der manuellen Entwurfsbearbeitung zur Entlastung bei Routineberechnungen DV-Programme zur Seite zu stellen. In den 70er Jahren erreichten die Arbeiten zur Thematik Achsen- und Gradientenoptimierung ihren Höhepunkt (HINTZEN, 1968 ; SCHECK, 1973; KOCH, 1975; EYLERT et al., 1977; CASPARY et al., 1980). Spätere Untersuchungen, die dieses Problem aufgriffen, befaßten sich nur noch mit Modifikationen der vorgeschlagenen Lösungswege (FULCZYK, 1982; STREICH et al., 1985).

Für die Achsoptimierung wird letztlich von allen genannten Autoren das gleiche Grundprinzip verfolgt. Ausgehend von einer digitalisierten Freihand- oder Entwurfslinie und der Einhaltung von Zwangspunkten und Restriktionen (z.B. Mindestradien) sowie der Optimierung bestimmter Zielkriterien, wie etwa der Minimierung der Baukosten unter vorgegebenen Bedingungen, soll die günstigste Abfolge Gerade - Klothoide - Kreis - Klothoide erzielt werden. Die Elemente werden mit Hilfe von Spline-Funktionen zusammengefügt. Für die iterative Annäherung an die optimale Linienführung werden Algorithmen der dynamischen Optimierung benutzt.

Das für den Grundriß gültige Vorgehen wurde auch auf die Optimierung im Aufriß übertragen. Der Vorschlag von HINTZEN (1968), die Gradiente als Folge von Polynomen mit stetigen Übergängen in den Knickpunkten zu behandeln, wurde nur bis in die frühen 70er Jahre verfolgt.

Dieser Zeitraum stand im übrigen auch, wie SCHNEIDER (1985) berichtet, im Zeichen der Realisierung des computergestützten Zeichnens.

Etwa ab 1980 setzten Forschungsarbeiten ein mit dem Ziel, Grundlagen dafür zu erarbeiten, wie die EDV-gestützte Entwurfsbearbeitung unter Verwendung eines integrierten Berechnungs- und Informationssystems im Dialog zwischen Mensch und Maschine gestaltet werden könnte. BOESEFELDT et al. (1985) stellten in diesem Zusammenhang einen Anforderungskatalog für einen interaktiven Arbeitsplatz im Straßenentwurf zusammen.

Die meisten im Rahmen von Forschungsarbeiten für den klassischen Straßenbau entwickelten Computer-Programme, das gilt insbesondere für die Optimierungsansätze, wurden ähnlich wie das 3-D-Modell auf Großrechner in der Programmiersprache FORTRAN implementiert. Für derart komplexe Zusammenhänge reicht nach Auskunft von Fachleuten der Technischen Universität Stuttgart, die sich mit dieser Fragestellung befaßten, selbst die Kapazität heutiger Mikro-

computer nicht aus. In diesem Zusammenhang wurde auch darauf hingewiesen, daß aufgrund des enormen Rechenaufwands zunehmend - und das gilt im besonderen Maße für die Gradientenoptimierung - von der Optimierung weggegangen wird.

Was die Gestaltung eines eigenen Programmsystems anbelangt, war insbesondere das Fazit aus den Untersuchungen von BOESEFELDT et al. (1985) aufschlußreich. Es bringt zum Ausdruck, daß die interaktive Bildschirmarbeit mit der Aufteilung des Planungsprozesses in einzelne Schritte wieder eher mit dem früher üblichen Verfahren bei der ausschließlich manuellen Entwurfsbearbeitung vergleichbar sei, d.h. theoretische Rechenmodelle werden z.T. durch die konstruktive Arbeit des Planers, die im direkten Dialog mit dem Rechner erfolgt, ersetzt.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, daß aus der Sichtung der Planungssoftware für den klassischen Straßenbau für die EDV-gestützte Projektierung im Forstwegebau kein direkter Nutzen gezogen werden konnte. Eine Achsen- und Gradientenoptimierung scheidet aus den dargelegten Gründen aus. Im Falle der sonstigen Programme, die i.d.R. kommerziell genutzt werden, blieb der Einblick in die Strukturen und Algorithmen der Quellenprogramme verwehrt. Aus den im allgemeinen sehr knapp gehaltenen Programmbeschreibungen und selbst aus den Informationsgesprächen mit den Anbietern ließen sich keine Hinweise für Lösungsansätze entnehmen.

5 DER PROGRAMMENTWURF FÜR DIE EDV-GESTÜTZTE WEGEPROJEKTIERUNG

5.1 ANFORDERUNGEN

Beim Entwurf der Planungs-Software für die Detailprojektierung wurde von folgenden Prämissen ausgegangen:

1. Die Hardware-Ausstattung entspricht der Gerätekonfiguration, die auch für den Aufbau der Gelände- und Planungsdatenbank benutzt wird.
2. Der Planungsablauf muß dem der klassischen Projektierung angepaßt sein. Nur auf diese Weise kann der derzeit noch vorherrschenden Skepsis der Praxis gegenüber modernen EDV-gestützten Methoden entgegengewirkt werden.
3. Der Anwender weist ausreichende Erfahrungen in der Entwurfsgestaltung auf, hat jedoch keine oder nur geringe Erfahrungen bei der Nutzung von EDV-Systemen.

Sämtliche Programmierarbeiten wurden wiederum auf der instituts-eigenen EDV-Anlage vorgenommen. Details über die benutzte Geräteausstattung sind bereits in Kapitel 2 angegeben.

Aus der Forderung, die EDV-gestützte Methode dem klassischen Vorgehen anzugleichen, resultierte ein modularer Aufbau des Programmpakets, wie er aus dem vereinfachten Gesamtablaufschema in Abb. 40 ersichtlich ist. Das Schema zeigt auf, wie die einzelnen Teilprogramme in einer systematischen Abfolge angeordnet wurden, welche Informationsblöcke jeweils für die Anwendung benötigt werden, welche Pläne geplottet werden können und welche Rückkoppelungen bei der Bearbeitung von neuen oder modifizierten Linienführungen sinnvoll erscheinen. Differenzierte Flußdiagramme werden im weiteren bei der Beschreibung der Subroutinen vorgestellt.

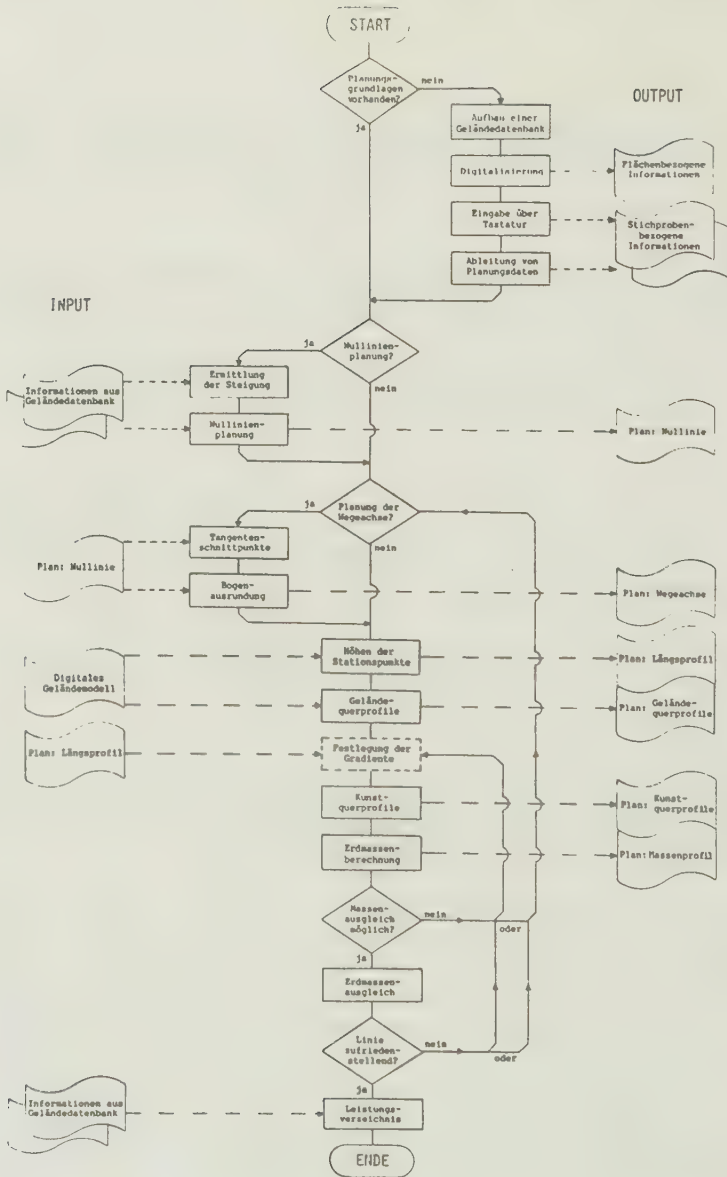


Abb. 40: Ablaufschema fuer die EDV-gestuetzte Wegeprojektierung

Um der Vorgabe nach einer benutzerfreundlichen Konzeption gerecht zu werden, mußte das Programmsystem derart gestaltet werden, daß die Planung im direkten Dialog zwischen Planer und Rechner durchgeführt werden kann. Zu diesem Zweck mußten Bildschirmmenues angelegt werden, die es zulassen, daß die erforderlichen Subroutinen - diese möglichst der Terminologie der klassischen Methode angepaßt - mit Hilfe sog. KEY-Tasten oder numerischer Codes einzeln in den Arbeitsspeicher des Rechners geladen werden können. Dem Planer bleiben damit auch bei der EDV-Anwendung genügend Möglichkeiten, aktiv in den Planungsprozeß einzugreifen und ad hoc zu entscheiden, ob Zwischenergebnisse akzeptiert werden können oder ob ein Planungsschritt ggf. mit einer anderen Linienführung wiederholt werden muß.

5.2 DAS HAUPTMENUE

Die grundsätzlichen Möglichkeiten, Bildschirm-Menues anzulegen, wurden bereits in Kapitel 2 in Verbindung mit dem Datenbankaufbau skizziert.

Um wiederum eine logische Abfolge mit einer hierarchischen Struktur zu erreichen, wurden die Elemente des Hauptmenues in den über die SOFTKEY-Tasten zugänglichen USER-Feldern angeordnet. Über einfache Hilfsprogramme werden diese in einen Befehlssatz für das Starten der Unterprogramme umgewandelt.

Für die Definition der USER-Felder und die anschließende Befehlswweisung stehen dem Anwender nach dem Befehl "LOAD: WEGSTART" in Verbindung mit der auf dem Bildschirm erscheinenden Kontrollfrage, ob die Planungsgrundlagen vorhanden sind, die folgenden zwei Wege offen:

1. Bei einem "JA" zu der Kontrollfrage wird das Hauptmenue mit den in Abb. 41 aufgezeigten Wahlmöglichkeiten generiert. Mit Hilfe der KEY-Tasten (F1 - F7) können die gewünschten Subroutinen ohne zusätzlichen Ladeprozeß von der Programm-

diskette in den Arbeitsspeicher eingelesen werden. F8 "ENDE" erlaubt den obligatorischen Ausstieg aus dem Planungsvorgang, verbunden mit der Reaktivierung der betriebssystemkonformen KEY-Tastenbelegung.

2. Sollten Planungsgrundlagen fehlen, dann wird im USER-Bereich das bereits bekannte Datenbank-Menue initiiert. Auf dem Bildschirm erscheint zusätzlich der Hinweis "DISKETTE DATENBANK EINLEGEN". Der Anwender kann somit direkt auf die Planungsdatenbank zurückgreifen.

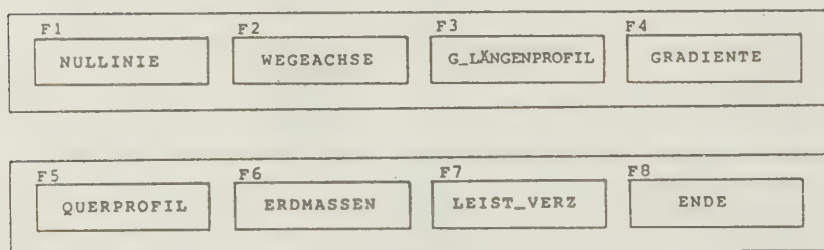


Abb.41: Hauptmenue fuer das Programmsystem "WEGSTART"

Innerhalb der verschiedenen Unterprogramme für die Wegeprojektion erfolgt der Dialog über Menues, die primär im OUTPUT-Bereich des Bildschirms angelegt werden. Als Unterstützung für den Planer wird jeweils über eine Bildschirmnotiz dokumentiert, welches Programm gerade läuft.

Neben den Ausführungen zu den theoretischen Grundlagen, den methodischen Ansätzen und verwendeten Algorithmen wird im Rahmen des nachfolgenden Programmentwurfs dargelegt, wie die praktische Anwendung für eine konkrete Aufgabe aussieht und in welcher Form

der Planer die Resultate erhält. Das quasi als "Roter Faden" dienende Beispiel stammt aus dem Projekt "Hollmaier Leite". Die Detailprojektierung erfolgt für den ersten Wegeabschnitt bis etwa zur Station 300 Meter.

5.3 PROGRAMM "WEGSTART" - NULLLINIE

Für die Planung der Nulllinie im schwierigen Gelände bedient man sich beim klassischen Vorgehen in der Regel der Zirkelschrittplanung auf großmaßstäblichen topographischen Karten. Dieses einer klaren Gesetzmäßigkeit folgende Verfahren läßt sich verhältnismäßig leicht auf EDV-Anlagen übertragen. Wie die computer-gestützte Planung abläuft, zeigt das Flußdiagramm in Abb. 42.

5.3.1 Nulllinienplanung

Nach Betätigung der SOFTKEY-Taste "NULLLINIE" wird der Programmablauf mit der Kontrollfrage eröffnet, ob die Nulllinienplanung überhaupt erforderlich ist.

Mit der Entscheidung für die detaillierte Planung ergeht an den Planer die Aufforderung, zu prüfen, ob die Planungsgrundlagen gemäß den Anforderungen vorbereitet wurden. Als Voraussetzung für die Programmanwendung muß eine möglichst großmaßstäbliche topographische Karte (1 : 5000, 1 : 10000), ggf. mit Overlays zu weiteren zu berücksichtigenden Planungsparametern (z.B. Kardinalzonen), die vorab aus der Geländedatenbank abgerufen und geplottet werden müssen, auf das Digitalisiertablett gelegt werden. Dabei ist darauf zu achten, daß sowohl die bereits während des Aufbaus der Datenbank festgelegten Markierungspunkte für die AXIS-ALIGN-Routine, als auch möglichst das Teilgebiet, in dem der Weg geplant werden soll, mit der Digitizerlupe erfaßt werden können.

Als topographische Karten können sowohl vorhandene Höhenflurkarten (1 : 5000) als auch in der Datenbank gespeicherte Schichtlinienpläne, die sich, wie bereits aufgezeigt, in entsprechenden Maßstäben (1 : 5000, 1 : 10000) reproduzieren lassen, benutzt werden.

Als alternative Planungshilfe könnte bereits vor dem Planungsprozeß statt der Karten-Overlays eine beliebige Planungskarte auf dem Bildschirm generiert werden. Damit sind jedoch die Nachteile verbunden, daß sich zum einen der Planer pro Planungsvorgang für eine Bildschirmkarte entscheiden und zum anderen ständig den Blick von der topographischen Karte auf dem Digitalisiertableau zum Bildschirm wenden muß. Es wurde daher der Weg gewählt, diese Möglichkeit erst nach der Planung von Nulllinienabschnitten oder der vollständigen Nulllinie zu nutzen. Wie noch zu zeigen sein wird, kann in Verbindung mit der Plotroutine für die Nulllinie mit Hilfe der verfügbaren Bildschirmkarten geprüft werden, ob alle Planungsrestriktionen eingehalten wurden.

Sobald der Planer den Abschluß der vorbereitenden Arbeiten bestätigt, kann er über ein Bildschirmmenue (Nulllinien-Menue I) anhand numerischer Codes folgende Unterprogramme ansteuern:

BERECHNUNG DER EINZUHALTENDEN STEIGUNG	1
FESTLEGUNG DER NULLLINIE	2
ENDE	3

Für die Ermittlung der einzuhaltenden Steigung müssen der Maßstab der Planungskarte (M) und die Geländehöhen des möglichst auf Höhenschichtlinien liegenden Anfangs-(A) und Endpunktes (B) eines bestimmten Wegeabschnittes, für den voraussichtlich mit

gleichbleibender Steigung trassiert werden kann, eingegeben werden. Es folgt die bereits in anderem Zusammenhang mehrfach erwähnte AXIS-ALIGN-Routine, die grundsätzlich für die Arbeit mit dem Digitizer erforderlich ist. Es ist darauf zu achten, daß wieder auf die gekennzeichneten Markierungspunkte zurückgegriffen wird.

Außer dem Höhenunterschied zwischen Anfangs- und Endpunkt muß als zweiter Parameter die Streckenlänge durch Digitalisieren der etwaigen Linienführung erfaßt werden. Ein Hinweis im Display macht den Anwender darauf aufmerksam. Die Längen werden nach dem bereits bekannten Algorithmus berechnet. Als Ergebnisse werden die Länge der Strecke (L) und die einzuhaltende Steigung (G) als "VORGABEN FÜR DIE NULLLINIENPLANUNG" ausgedruckt. Die Probestrecke fällt in die ersten zwei Streckenabschnitte mit den Werten:

VORGABEN FÜR DIE NULLLINIENPLANUNG

STRECKENABSCHNITT-NR.: 1

LÄNGE DER STRECKE = 233.49 m

BERECHNETE STEIGUNG = 6 %

VORGABEN FÜR DIE NULLLINIENPLANUNG

STRECKENABSCHNITT-NR.: 2

LÄNGE DER STRECKE = 211.43 m

BERECHNETE STEIGUNG = 9.46 %

Das Programm für die Festlegung der Nulllinie (Code 2) wurde, zumindest was das Programmgerüst und den zentralen Algorithmus anbelangt, aus dem Programmsystem von BURKE (Kapitel 4.1.3) adaptiert.

Als Daten-Input werden nacheinander im Display der Kartenmaßstab (M), die Höhendifferenz zwischen den Schichtlinien (C) und die zuvor errechnete einzuhaltende Steigung (G) abgefragt. Nach der AXIS-ALIGN-Routine erscheinen auf dem Bildschirm Hinweise für den Start und die Beendigung der Planung des gewünschten Abschnitts des Nulllinienpolygons. Dem Planungsprozeß liegt die in Abb. 43 schematisch dargestellte Konzeption zu Grunde. Die Strecke R kann aus der Höhendifferenz zwischen den Schichtlinien (C), der einzuhaltenden Steigung (G) und dem Kartenmaßstab (M) über den Zusammenhang

$$R = C / (M \times G \times 0,01) \quad (13)$$

berechnet werden.

Für die schrittweise Fixierung des jeweiligen Nulllinienabschnitts zwischen zwei aufeinanderfolgenden Höhenschichtlinien wird zunächst die Digitizer-Lupe vom Anfangspunkt aus senkrecht zur nächsten Schichtlinie bewegt und der Abstand (a) zwischen den Schichtlinien in Horizontalprojektion gemessen. Beim anschließenden Abfahren der erreichten Höhenschichtlinie - je nach Linienführung nach links oder rechts - wird innerhalb einer Programmschleife laufend geprüft, ob der Wert aus $\sqrt{a^2 + b^2}$, mit b = abgefahrte Strecke, die zuvor ermittelte Streckenlänge R erreicht hat. Die Übereinstimmung wird mit einem akustischen Signal angekündigt. Gleichzeitig wird das erste Nulllinienstück auf dem Bildschirm gezeichnet.

Weicht die Steigung von dem vorgegebenen Wert ab, dann wird der betreffende Abschnitt mit einem Sonderzeichen (Stern) markiert und der tatsächliche Steigungsfaktor angeschrieben. Die Hard-

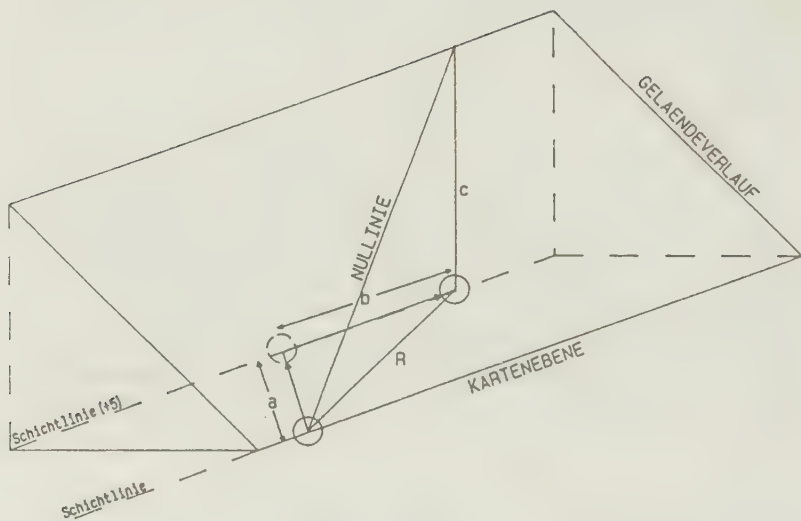
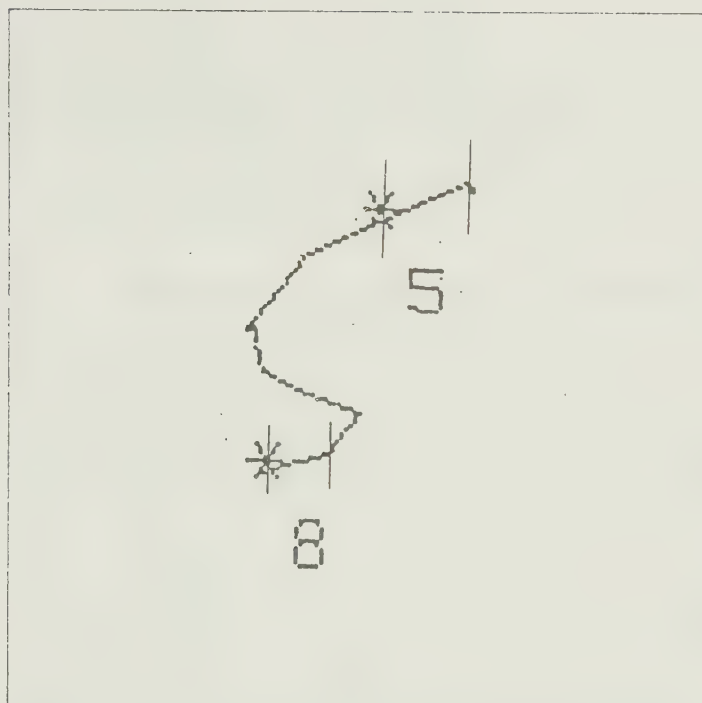


Abb.43: Konzeption fuer die Nulllinienplanung

copy in Abb. 44 gibt die aus den "VORGABEN FÜR DIE NULLLINIEN-PLANUNG" resultierende Bildschirmdarstellung wieder. Die vorgegebenen Steigungen konnten am Anfang der Teststrecke mit 5 % und am Ende mit 8 % nicht durchweg eingehalten werden. Da bei der Übertragung der auf der Karte geplanten Nulllinie ins Gelände zwangsläufig geringfügige Abweichungen von der einzuhaltenden Steigung zu tolerieren sind, wurde die Nulllinie nicht neu geplant. Generell gilt jedoch, daß der Vorgang solange wiederholt werden muß, bis für einen bestimmten Streckenabschnitt die Planung mit der dafür ermittelten gleichbleibenden oder einer davon geringfügig abweichenden Steigung abgeschlossen ist. Dieser partielle



- |.....| = Nulllinienabschnitt zwischen Höhenschichtlinien
- * = fuer zurueckliegenden Abschnitt Steigung nicht eingehalten
(Kennzeichnung mit neuer Steigung)

Abb.44: Bildschirmdarstellung der Nulllinie fuer die Teststrecke

Abschluß wird dem Rechner durch das Starten der Abspeicherroutine über die Funktionstaste fa des Digitizers signalisiert. Der Dateiname kann frei gewählt werden. Der nachfolgende Ausdruck zeigt, wie die Informationen Dateiname und Anzahl der Datensätze für den Planer dokumentiert werden.

DATEI NULLINIENPOLYGON - C O M P U T E R P L A N U N G

IN DER DATEI TESTLEIT1 WURDEN 5 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

DATEI NULLINIENPOLYGON - C O M P U T E R P L A N U N G

IN DER DATEI TESTLEIT2 WURDEN 7 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

Über das Abspeichern der Koordinatenwerte der Nulllinie hinaus werden die folgenden Kontrollausdrucke angefertigt

KONTROLLAUSDRUCK FOR NULLINIENPLANUNG

STRECKENABSCHNITT-NR.:	1	
MASSTAB DER KARTE	=	1: 5000
DISTANZ DER HÖHENSCHICHTLINIEN	=	5 m
NULLINIENLÄNGE	=	270.06 m
VORGEGEBENE STEIGUNG	=	6 %

KONTROLLAUSDRUCK FÜR NULLLINIENPLANUNG

STRECKENABSCHNITT-NR.: 2
MASSTAB DER KARTE = 1: 5000
Distanz der Höhenschichtlinien = 5 m
NULLINIENLÄNGE = 281.94 m
VORGEGEBENE STEIGUNG = 9.46 %

und ein neues Bildschirmmenue erzeugt.

Der weitere Planungsablauf innerhalb der Unterprogramme zur Nulllinienfestlegung wird ebenso wie das Abspeicherprogramm (mit **fa**) über die Funktionstasten des Digitizers gesteuert. So bedeuten:

fb Strecke mit neuer Steigung fortsetzen;

fc Neubeginn mit Löschen der Strecke und Wiederholung der Planung mit neuer Steigung;

fe Ende des Programms.

Mit **fb** kann die Nulllinienplanung, zunächst wieder mit der Berechnung der einzuhaltenden Steigung, für den nächsten Abschnitt direkt fortgesetzt werden.

Die Funktionstaste **fc** ist so definiert, daß für das geplante Nulllinienstück nach Vorgabe des Dateinamens und der Anzahl der Datensätze sowohl die Darstellung auf dem Bildschirm als auch die numerischen Daten im Speichermedium gelöscht werden. Das Programm "NULLINIE" wird neu gestartet.

Die Rückkehr zum Hauptmenue erfolgt über die Taste **fe** .

5.3.2 Weitere Optionen innerhalb des Programms "NULLINIE"

Der Umweg über das Hauptmenue muß eingeschlagen werden, um die im Programm "NULLINIE" neben der Zirkelschrittplanung angebotenen Subroutinen nutzen zu können. Folgende Optionen werden in einem Bildschirm-Menue (Nulllinien-Menue II) offeriert, falls anfangs die Entscheidung getroffen wird, daß eine Nulllinienplanung nicht mehr erforderlich ist:

EINGABE DER NULLINIEN-DATEN	1
PLOTTEN DER NULLINIE (BILDSCHIRM/PLOTTER)	2
ENDE	3

Unter Code 1 können im Gelände erhobene **Nullliniendaten über die Tastatur** eingegeben werden. Das Eingabeprogramm fragt im Display, neben dem Maßstab der Karte (M), die Entfernungen zwischen den Nulllinienpunkten (E) und die Horizontalwinkel (W) des Nulllinienpolygons ab. Nach der Eingabe eines Dateinamens erhält der Planer zum Abschluß der Dateneingabe den Ausdruck "DATEI NULLINIE (POLARKOORDINATEN)" mit Dateinamen und Anzahl der abgespeicherten Datensätze (Abb. 45).

Als Vorbereitung für die Zeichenroutine ist die Umrechnung der Polarkoordinaten in rechtwinklige Koordinaten direkt angeschlossen. Um die Koordinaten des Anfangspunktes zu erhalten, muß dieser digitalisiert werden. Der Anwender kann sich an den Hinweisen auf dem Bildschirm orientieren. Die x-,y-Werte der nachfolgenden Nulllinienpunkte lassen sich ausgehend von den Koordinaten des Anfangspunktes über einfache trigonometrische Beziehungen errechnen.

DATEI NULLINIE (POLARKOORDINATEN)

IN DER DATEI LEI_POLAR WURDEN 24 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

DATEI NULLINIE (KARTESISCHE KOORDINATEN)

IN DER DATEI LEI_KARTES WURDEN 24 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

Abb.45: Nullliniendateien

Als Grundlage für die weitere Planung wird wiederum ein Ausdruck "DATEI NULLINIE" diesmal mit der Bezeichnung "(KARTESISCHE KOORDINATEN)" mit Dateinamen und Anzahl der abgespeicherten Datensätze erstellt (Abb. 45). Das Eingabeprogramm und die angeschlossene Routine für die Koordinatenumrechnung wurden im übrigen auch schon im Rahmen der klassischen Projektarbeit benutzt.

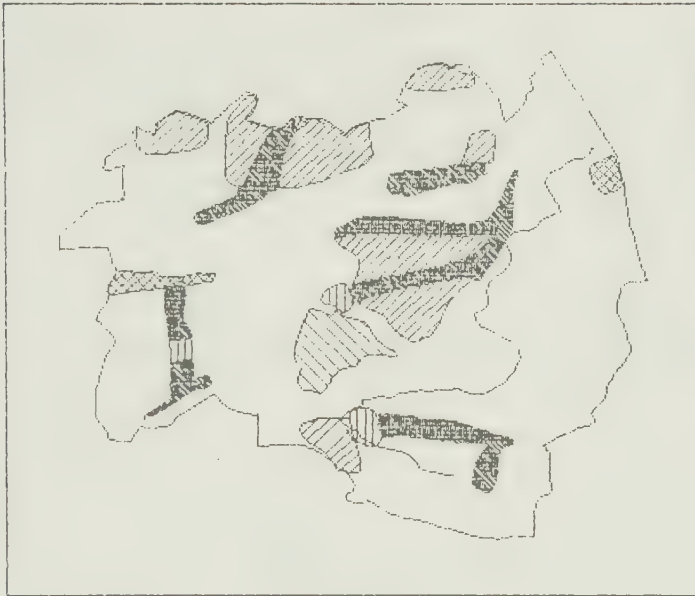
Das Plotprogramm (Code 2) subsumiert

- das Plotten der Nulllinie auf dem Bildschirm für die Überprüfung der Linienführung mit Hilfe von Bildschirmkarten und
- das Zeichnen der Nulllinie auf dem Plotter.

Mit der Option, die Nulllinie auf dem Bildschirm zu generieren - Dateinamen und Anzahl der Datensätze werden im Display abgefragt -, kann der Planer über einen Quereinstieg zur Geländedatenbank mit Hilfe der dort verfügbaren Planungskarten direkt auf dem Bildschirm prüfen, ob mit der angestrebten Linienführung die Planungsrestriktionen eingehalten werden. Die "Bildschirm-Copy" Nulllinie und Kardinalzonen in Abb. 46 soll das Vorgehen verdeutlichen.

Im Zusammenhang mit jeder Bildschirmkarte wird automatisch gefragt, ob die Planungsentscheidung akzeptiert werden kann. Muß diese ggf. revidiert werden, so wird der Anwender aufgefordert, die Nulllinien-datei zu löschen und die Routine für die Nulllinienplanung im Hauptmenue neu zu starten. Falls die Linienführung den Vorstellungen entspricht, stehen als Alternativen offen, weitere Bildschirmkarten zu generieren oder den Planungsprozeß ebenfalls mit der Rückkehr ins Hauptmenue zu beenden.

Für die nachfolgende Planung der Wegeachse, bei der zunächst das Nulllinienpolygon mit Hilfe von Tangenten auszugleichen ist, muß als Grundlage für die im weiteren vorgesehene Arbeit mit dem Digitalisiergerät der "PLAN: NULLINIE" geplottet werden. Dabei gilt es zu beachten, daß, um die Nulllinie als Overlay über eine Planungskarte (z.B. topographische Karte) legen zu können, eine maßstabsgetreue Reproduktion erforderlich ist. Ein geeigneter Lösungsweg hierzu wurde bereits in Kapitel 2 in Verbindung mit dem Plotprogramm, das in das Datenbanksystem integriert wurde, vorgeschlagen. Da dieser standardisierte Algorithmus auch für das Plotten der Nulllinie verwendet werden kann, sei hier nur noch einmal darauf hingewiesen, daß nach der Wahl des Formats (DIN-A 3 bis DIN-A 1) der Rasterabstand, die Anzahl der Rasterpunkte auf den Achsen und die Koordinaten des Nullpunktes (in Plottereinheiten) nach den entsprechenden Display-Abfragen eingegeben werden müssen. Des weiteren benötigt das Programm die Datei, in der die Nullliniendaten abgespeichert wurden und Angaben, in welcher Farbe und Strichart gezeichnet werden soll.



- = Nulllinie
-  - bautechnisch unguenstig (Erosion)
-  - bautechnisch unguenstig (Boden)
-  - bautechnisch unguenstig (Grabeneinbaenge)
-  - Fremdbesitz
-  - bautechnisch guenstig (Grabenuebergaenge)

Abb.46: Hardcopy Kardinalzonen mit Nulllinie

Da die Nulllinie auf Grund der wechselnden Steigungsverhältnisse in der Regel abschnittsweise geplant und abgespeichert wird, erfolgt nach jedem Zeichenvorgang die Abfrage, ob weiter gezeichnet werden soll. Ist dies der Fall, dann müssen wiederum Dateiname und Anzahl der Datensätze eingegeben werden. Mit dem Abschluß der Zeichenarbeiten wird automatisch das Hauptmenue generiert.

5.4 PROGRAMM "WEGSTART" - WEGEACHSE

Dem Planer präsentiert sich nach dem Starten des Programms "WEGEACHSE" das folgende Startmenue:

PLANUNG DER WEGEACHSE	1
EINGABE VON WEGEACHSDATEN	2
HEKTOMETRIEREN (KOORDINATENERMITTLUNG)	3
PLOTTEN DER WEGEACHSE	4
HAUPTMENUE	5

Das Zusammenwirken der verschiedenen Unterprogramme zeigt die Flow-Chart in Abb. 47.

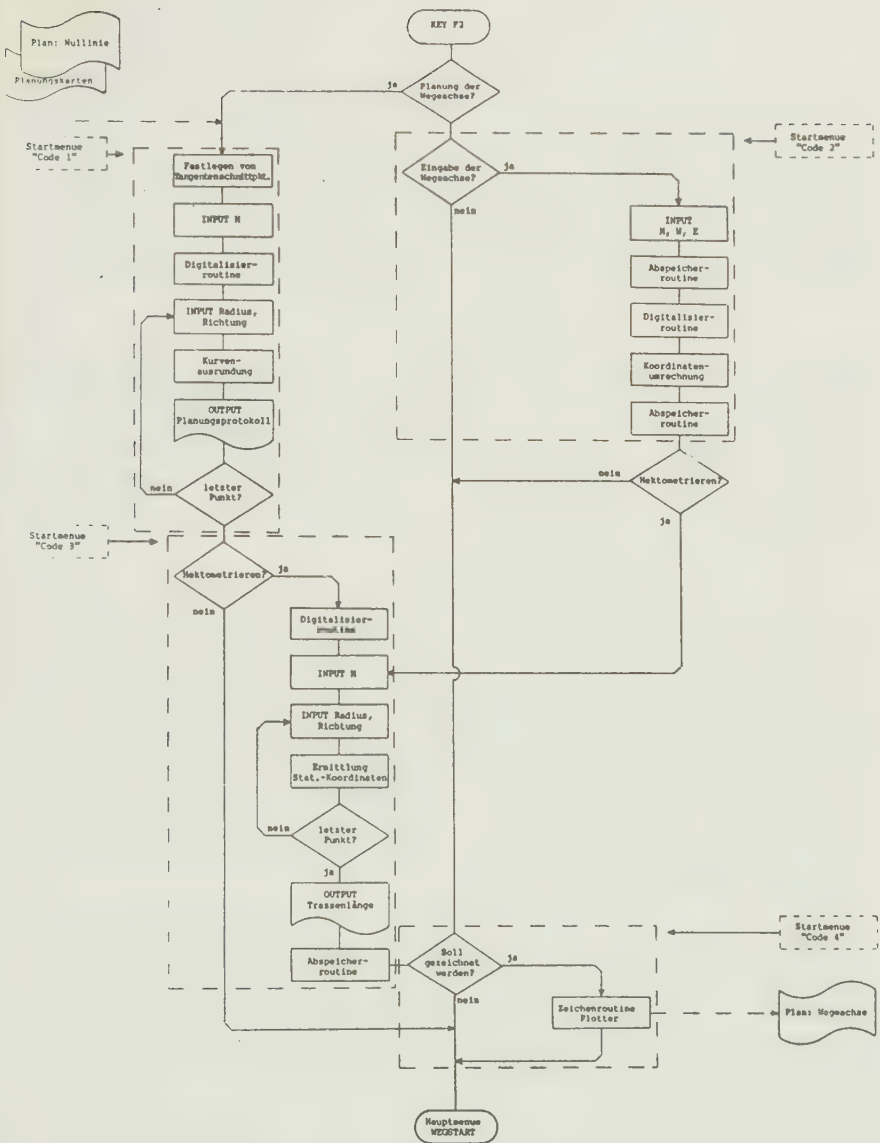


Abb.47: Ablaufschema fuer das Programm "WEGEACHSE"

5.4.1 Planung der Wegeachse

Als Vorbereitung für die unter Code 1 ausgewiesene Planung müssen das zuvor erstellte Nulllinien-Overlay über die Planungskarte gelegt und die Tangentenschnittpunkte in möglichst enger Anlehnung an die Nulllinie markiert werden. Auf diese Weise ist sichergestellt, daß Planungsrestriktionen eingehalten werden.

Abb. 48 zeigt den Verlauf der Nulllinie für die Teststrecke (Maßstab 1 : 1000), wie er sich aus den im Gelände aufgenommenen Daten ergibt. Das ebenfalls im Gelände gemessene Tangentenpolygon wurde gestrichelt eingezeichnet. Die Tangentenschnittpunkte werden damit automatisch fixiert. Für die in Verbindung mit dem Testbeispiel durchzuführenden weiteren Planungsschritte wird diese Linienführung zu Grunde gelegt.

Sollte der Ausgleich des Nulllinienpolygons auf der Karte vorgenommen werden, so ist es zumindest unter schwierigen Geländeverhältnissen zweckmäßig, diesen Vorgang an besonders kritischen Stellen, wie etwa tiefen Geländeeinschnitten oder schmalen Hangrücken, zu beginnen. Von diesen sogenannten Tangentenzwangsschnittpunkten ausgehend kann dann die Lage der weiteren Fixpunkte bestimmt werden. Als Orientierung für deren Ausscheidung genügt in diesem Planungsstadium die topographische Karte, da beispielsweise günstige Grabenübergänge bereits bei der Nulllinienplanung als positive Kardinalzonen Berücksichtigung fanden.

Mit der Bestätigung, daß die vorbereitenden Tätigkeiten abgeschlossen sind, erhält der Planer die vom Programm gesteuerte Möglichkeit, das Nulllinienpolygon und/oder eine Planungskarte auf dem Bildschirm zu generieren. Ein entsprechend modifiziertes Plotprogramm mit einer Querverbindung zur Datenbank wurde als Subroutine eingebaut.

Anschließend beginnt die Arbeit mit dem Digitizer. Wir konnten uns auf Grund der vorliegenden Informationen damit begnügen, das im Ge-

— = Nullinie
- - - = Tangentenpolygon

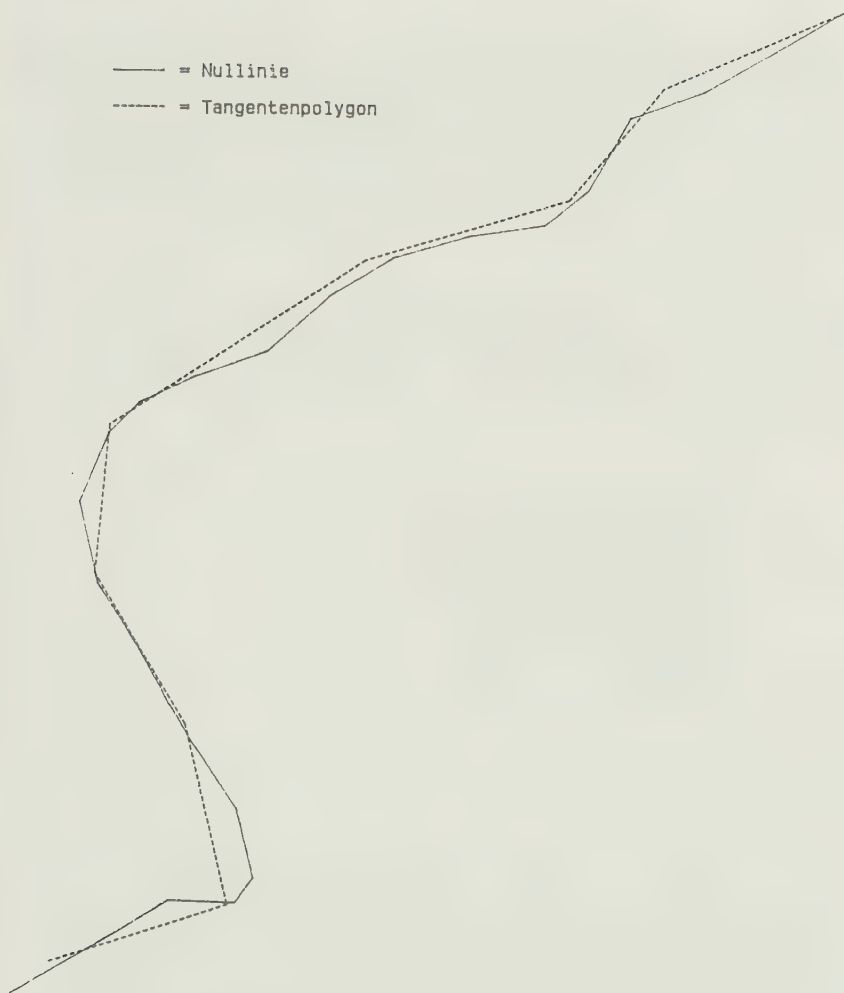


Abb.48: Nullinie + Tangentenpolygon

lände aufgenommene Tangentenpolygon nachzuvollziehen. Nach der Vorgabe des Maßstabs (M) der Planungskarte und der AXIS-ALIGN-Routine an den markierten Punkten wird der Benutzer angewiesen, den Startpunkt und die beiden nachfolgenden Tangentenschnittpunkte zu digitalisieren. Das entstehende Polygon wird auf dem Bildschirm dargestellt. In Verbindung mit einer ggf. zuvor erzeugten Bildschirmkarte wird damit ein weiteres Kontrollinstrument geschaffen.

Nach der Digitalisierung der ersten drei Fixpunkte und der programmierten Berechnung der Tangentenlängen und der dazugehörigen Richtungswinkel werden direkt zum ersten Tangentenschnittpunkt die Parameter Kurvenradius und -richtung abgefragt. Nach deren Eingabe wird ein Planungsprotokoll mit

```

=====
KURVENDATEN FOR KURVE 1
INNENWINKEL= 153.23 GRAD
ZENTRIWINKEL= 26.77 GRAD
RADIUS = 30 m LINKS
TANGENTENLÄNGE= 7.14 m
BOGENLÄNGE= 14.02 m
BOGENANFANG = 32.7 m
BOGENENDE = 46.72 m
=====

```

ausgedruckt und der Bogen auf dem Bildschirm "abgesteckt".

Die programmierte Kreisbogenabsteckung verbindet Elemente des Zentriwinkelverfahrens mit dem Einrückverfahren. Graphisch läßt sich gut veranschaulichen (Abb. 49), daß sich nach der Division des Zentriwinkels durch einen konstanten Faktor (F) Stationen ($P_1 - P_n$) mit gleichmäßigen Abstand auf den Bogen legen lassen. Über die Hilfskonstruktion, daß $S = L/F$, mit S = Sehne und L = Bogenlänge, können dann mit der verlängerten Sehne x_0 und dem davon ausgehenden y_0 die Koordinaten, wie sie das Einrückverfahren vorsieht, mit Hilfe einfacher Winkelfunktionen berechnet werden. Ein

angeschlossenes Plotprogramm kann die Koordinatenwerte direkt umsetzen. Die Genauigkeit des Verfahrens nimmt mit höher werdendem F zu, da sich bei kurzen Bogenabschnitten die Werte von S und L/F langsam annähern. Derzeit wird im Programm mit dem Faktor $F = 8$ operiert.

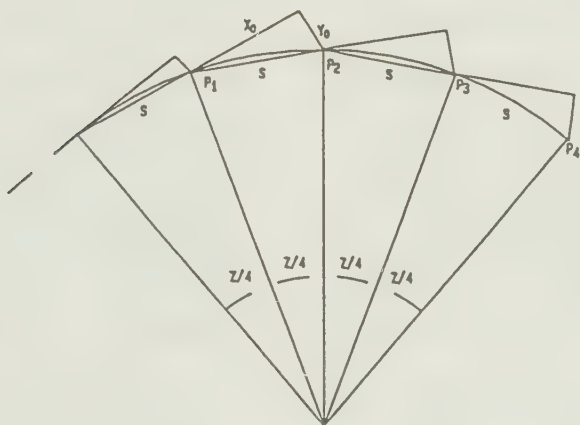


Abb.49: Programmierte Kreisbogenabsteckung

Im weiteren Verlauf müssen jeweils nach der Digitalisierung des nächsten Tangentschnittpunktes der Kurvenradius und die Kurvenrichtung für die Ausrundung des zuvor aufgenommenen Polygonpunktes eingegeben werden, um erneut die Subroutine für den Ausdruck des Planungsprotokolls und die Kurvenausrundung zu aktivieren. Nachfolgend sind die Planungsprotokolle für die Kurven 2 bis 7 aufgelistet.

=====

KURVENDATEN FÜR KURVE 2

INNENWINKEL= 146.78 GRAD
 ZENTRIWINKEL= 33.22 GRAD
 RADIUS = 30 m RECHTS
 TANGENTENLÄNGE= 8.93 m
 BOGENLÄNGE= 17.39 m
 BOGENANFANG = 60.34 m
 BOGENENDE = 77.73 m

=====

=====

KURVENDATEN FÜR KURVE 5

INNENWINKEL= 134.74 GRAD
 ZENTRIWINKEL= 45.26 GRAD
 RADIUS = 30 m LINKS
 TANGENTENLÄNGE= 12.51 m
 BOGENLÄNGE= 23.7 m
 BOGENANFANG = 189.92 m
 BOGENENDE = 213.62 m

=====

=====

KURVENDATEN FÜR KURVE 3

INNENWINKEL= 164.04 GRAD
 ZENTRIWINKEL= 15.96 GRAD
 RADIUS = 50 m LINKS
 TANGENTENLÄNGE= 7.01 m
 BOGENLÄNGE= 13.93 m
 BOGENANFANG = 104.71 m
 BOGENENDE = 118.64 m

=====

=====

KURVENDATEN FÜR KURVE 6

INNENWINKEL= 152.65 GRAD
 ZENTRIWINKEL= 27.35 GRAD
 RADIUS = 30 m RECHTS
 TANGENTENLÄNGE= 7.3 m
 BOGENLÄNGE= 14.32 m
 BOGENANFANG = 228.2 m
 BOGENENDE = 242.52 m

=====

=====

KURVENDATEN FÜR KURVE 4

INNENWINKEL= 127.6 GRAD
 ZENTRIWINKEL= 52.4 GRAD
 RADIUS = 25 m LINKS
 TANGENTENLÄNGE= 12.3 m
 BOGENLÄNGE= 22.86 m
 BOGENANFANG = 160.87 m
 BOGENENDE = 183.73 m

=====

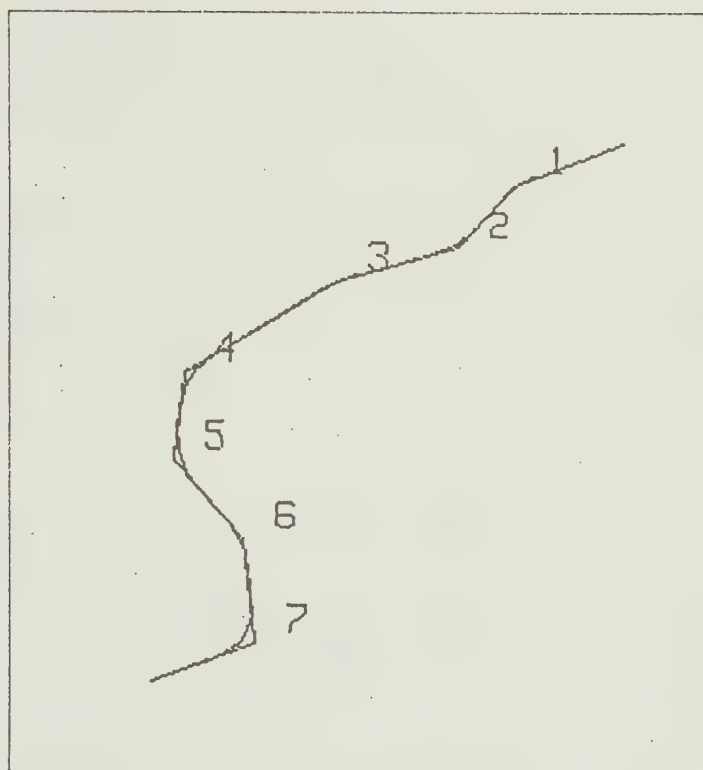
=====

KURVENDATEN FÜR KURVE 7

INNENWINKEL= 101.42 GRAD
 ZENTRIWINKEL= 78.58 GRAD
 RADIUS = 17.5 m RECHTS
 TANGENTENLÄNGE= 14.32 m
 BOGENLÄNGE= 24 m
 BOGENANFANG = 255.71 m
 BOGENENDE = 279.71 m

=====

Die Kurvenradien entsprechen denen aus der klassischen Projektierung. Wie sich der Vorgang der Kurvenausrundung dem Anwender auf dem Bildschirm darstellt, zeigt, basierend auf den obigen Daten, die Abb. 50.



— = Tangentenpolygon + Ausrundung der Bögen

1, 2, ... = Bogen-Nr.

Abb.50: Hardcopy Tangentenpolygon + Kurvenausrundung

Für die Beendigung des Planungsprogrammes wird nach jedem Digitalisiervorgang alternativ gefragt "LETZTER PUNKT - JA ODER NEIN?". Mit der Antwort "JA" wird das Programm unterbrochen oder abgeschlossen und das folgende Menue angeboten:

PLANUNG WIEDERHOLEN	1
ABSPEICHERN DER WEGEACHSE	2
STARTMENUE	3

Mit Option 1 wird der Bildschirm gelöscht und das Planungsprogramm neu gestartet.

Code 2 beinhaltet als Vorbereitung für das Hektometrieren die Abspeicherung der Koordinaten der Tangentenschnittpunkte. Der Dateiname kann frei gewählt werden. Als Unterlage für die nachfolgenden Planungsschritte erhält der Anwender den Ausdruck

=====

D A T E I KOORDINATEN TANGENTENPOLYGON - COMPUTER

IN DIE DATEI WEG300 WURDEN 10 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

=====

Er beinhaltet Dateiname und Anzahl der Datensätze. Nach dem Abspeichern wird ebenso wie mit Code 3 automatisch das Startmenue des Programms "WEGEACHSE" geladen.

5.4.2 Eingabe von Wegeachsensdaten

Neben der computergestützten Planung wird im Startmenue wiederum die Alternative offeriert, im Gelände aufgenommene Daten direkt einzugeben. Bis auf geringfügige Modifikationen konnten das Eingabeprogramm und die Koordinatenberechnung aus dem Programm "NULLLINIE" übernommen werden. Hinsichtlich des Ablaufs sei daher auf Kapitel 5.3 verwiesen. Die entsprechenden Ausdrücke mit Dateinamen und Anzahl der Datensätze lauten hier "POLARKOORDINATEN TANGENTENPOLYGON - GELÄNDE" und "KARTESISCHE KOORDINATEN TANGENTENPOLYGON - GELÄNDE".

5.4.3 Hektometrieren

Mit dem Hektometrierprogramm, das über den Code 3 im Startmenue gestartet werden kann, wird mit der Berechnung der Koordinaten der Stationspunkte zum einen eine wesentliche Voraussetzung für den späteren Übergang in die vertikale Planungsebene und zum anderen die Grundlage für die Erstellung des Lageplanes geschaffen.

Der Rechenvorgang wurde so gestaltet, daß, ausgehend vom Startpunkt, auf den Geraden die x-,y-Koordinaten der Stationspunkte in einem Abstand von 10 m und in den Kurven die Koordinaten von Bogenanfang, Bogenmitte und Bogenende und der Bogenviertelspunkte ermittelt werden. Der erste Geradenpunkt nach einem Bogen wird jeweils so festgelegt, daß anschließend den Stationspunkten bis zum nächsten Bogenanfangspunkt runde 10 m-Werte zugeordnet werden können. Innerhalb der Bögen wird für die Koordinatenberechnung der Ausrundungsalgorithmus aus dem Planungsprogramm benutzt. Der Hektometrierprozess ist schematisch in Abb. 51 skizziert. Dem Anwender verbleiben, vom Display angewiesen, folgende Tätigkeiten:

- Eingabe der Datei, in der die kartesischen Koordinaten des Tangentenpolygons entweder aus der computergestützten Planung oder der Feldaufnahme gespeichert sind,

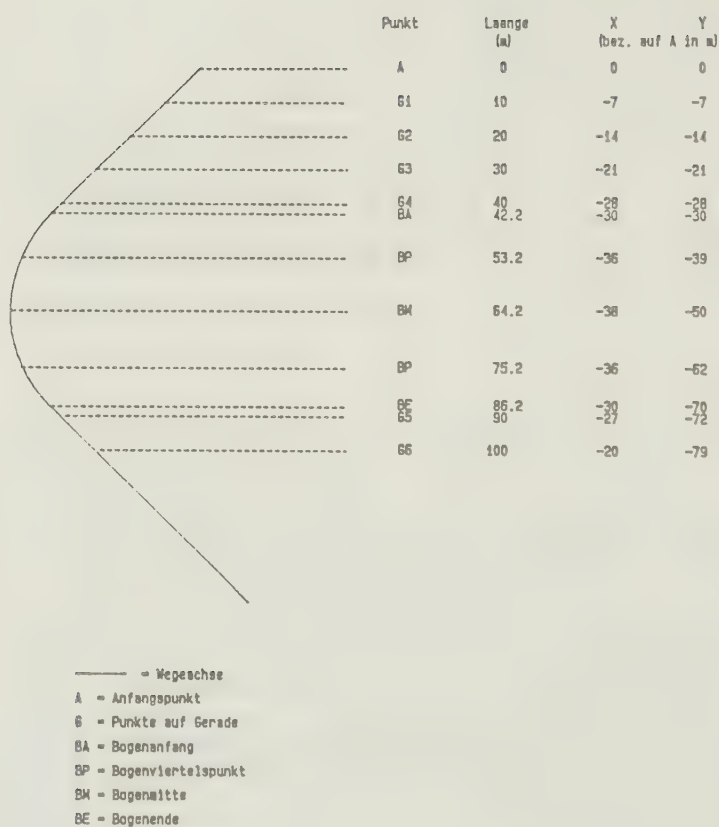


Abb.51: Schemaskizze zum Hektometrieren

- Eingabe des Kartenmaßstabs,
- Eingabe von Kurvenradius und Richtung zu jedem Tangenten-schnittpunkt; die benötigten Informationen liefert im Falle der computergestützten Planung das ausgedruckte Planungsprotokoll und im Falle der Geländeaufnahme das Feldbuch,
- Beendigung des Hektometriervorgangs mit der Bestätigung, daß der Endpunkt des Tangentenpolygons erreicht wurde.

Der Planer erhält gleichzeitig mit dem Abschluß einen Ausdruck mit der Gesamtlänge der Wegeachse. Darüberhinaus ist der Dateiname, unter dem die sog. Stationierungsliste (siehe nachfolgenden Ausdruck) abgespeichert werden soll, vorzugeben.

=====

STATIONIERUNGSLISTE

IN DIE DATEI STAT300 WURDEN 53 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

=====

Die Datei wurde so angelegt, daß neben den Koordinatenwerten (in Plottereinheiten) mit der Kennzeichnung der Stationspunkte als Geraden- (0) oder Bogenpunkt (1), den Stationslängen, den Richtungswinkeln der Tangenten und den Kurvenradien und -richtungen (0 = links, 1 = rechts) alle für den weiteren Planungsablauf erforderlichen Kennzahlen abgespeichert werden. Es wird automatisch der übliche Ausdruck mit Dateinamen und Anzahl der Datensätze angefertigt. Falls gewünscht, kann der Anwender zusätzlich die gesamte Stationierungsliste (siehe nachfolgende Seite) ausdrucken lassen. Im Anschluß an die Abspeicherroutine erfolgt der Übergang zum Startmenue.

STATIONIERUNGSLISTE

=====

PUNKT KENNUNG	X	Y	WINKEL	STAT. LÄNGE	K.-RADIUS	K.-RICHTUNG
1	2	3	4	5	6	7
0	7124	8937	246.60	0.00	0.00	0
0	7050	8905	246.60	10.00	0.00	0
0	6976	8873	246.60	20.00	0.00	0
0	6903	8841	246.60	30.00	0.00	0
1	6883	8833	246.60	32.70	30.00	0
1	6757	8769	243.26	36.21	30.00	0
1	6639	8692	236.57	39.71	30.00	0
1	6532	8601	229.87	43.22	30.00	0
1	6435	8498	223.18	46.72	30.00	0
0	6351	8397	219.84	50.00	0.00	0
0	6299	8335	219.84	60.00	0.00	0
1	6298	8333	219.84	60.34	30.00	1
1	6176	8207	223.99	64.69	30.00	1
1	6038	8100	232.29	69.04	30.00	1
1	5886	8015	240.60	73.39	30.00	1
1	5723	7952	248.90	77.73	30.00	1
0	5636	7925	253.06	80.00	0.00	0
0	5559	7902	253.06	90.00	0.00	0
0	5482	7878	253.06	100.00	0.00	0
1	5446	7867	253.06	104.71	50.00	0
1	5314	7822	251.06	108.19	50.00	0
1	5185	7767	247.07	111.67	50.00	0
1	5060	7704	243.08	115.16	50.00	0
1	4940	7632	239.09	118.64	50.00	0
0	4894	7602	237.09	120.00	0.00	0
0	4826	7558	237.09	130.00	0.00	0
0	4759	7515	237.09	140.00	0.00	0
0	4691	7471	237.09	150.00	0.00	0
0	4624	7427	237.09	160.00	0.00	0
1	4618	7424	237.09	160.87	25.00	0
1	4441	7277	230.54	166.58	25.00	0
1	4301	7095	217.44	172.30	25.00	0
1	4206	6886	204.34	178.01	25.00	0
1	4162	6660	191.24	183.73	25.00	0
0	4141	6409	184.69	190.00	0.00	0
1	4141	6410	184.69	189.92	30.00	0
1	4145	6172	179.04	195.85	30.00	0
1	4196	5939	167.72	201.77	30.00	0
1	4291	5721	156.40	207.70	30.00	0
1	4427	5525	145.09	213.62	30.00	0
0	4594	5330	139.43	220.00	0.00	0
1	4637	5280	139.43	228.20	30.00	1
1	4724	5166	142.85	231.78	30.00	1
1	4796	5041	149.69	235.36	30.00	1
1	4854	4909	156.52	238.94	30.00	1
1	4895	4772	163.36	242.52	30.00	1
0	4964	4479	166.78	250.00	0.00	0
1	4974	4434	166.78	255.71	17.50	1
1	4989	4193	176.60	261.71	17.50	1
1	4921	3962	196.24	267.71	17.50	1
1	4780	3766	215.89	273.71	17.50	1
	4581	3630	235.53	279.71	17.50	1
0	4570	3625	245.35	280.00	0.00	0

5.4.4 Plotten der Wegeachse

Das Plotprogramm (Code 4) beschränkt sich auf die Darstellung der Wegeachse mit Hilfe des Plotters. Es kann dafür der Standardalgorithmus, der i.d.R. auch die maßstabsgerechte Zeichnung eines einfachen Lageplanes erlaubt, herangezogen werden. Als Vorgabe werden der Dateiname der Stationierungsliste und die Zeichenparameter Farbe und Strichart benötigt. Nachdem zumindest ein vereinfachter Lageplan als ein Resultat aus der Detailprojektierung erwartet wird, wurde die Möglichkeit vorgesehen, den Plan "LAGEPLAN" zu beschriften. Das Beschriftungsfeld umfaßt den Projektnamen, den Maßstab und die Länge des Weges. Um zusätzlich wenigstens die Grenzen des Erschließungsgebietes einzeichnen zu können, kann aus dieser Subroutine über eine Bildschirmabfrage direkt auf die Geländedatenbank zugegriffen werden.

Das Zeichnen der Wegeachse signalisiert den Abschluß des Komplexes Planung der Wegeachse und führt automatisch zurück in das Hauptmenue.

5.5 PROGRAMM "WEGSTART" - GELÄNDELÄNGENPROFIL

Als zentrales Problem bei der computergestützten Planung stellt sich der automatisierte Übergang von der horizontalen in die vertikale Planungsebene dar, der bei den klassischen Verfahren mit Hilfe des Nivellements und letztlich mit dem von Hand gezeichneten Geländelängenprofil realisiert wird.

Mit dem Computereinsatz wird u.a. angestrebt, gerade die für die Messung der Geländehöhen arbeits- und zeitintensiven Feldarbeiten zu vermeiden. Es mußte daher eine Methode erarbeitet werden, die es zuläßt, die Geländehöhen der Stationspunkte auf der Basis von in der Planungsdatenbank abgespeicherten Informationen und der im Laufe der bisherigen Planung errechneten Daten zu ermitteln. Wie aus dem Ablaufschema in Abb. 52 ersichtlich wird, müssen dazu

- ein 3-dimensionales digitales Geländemodell und
- die x-,y-Koordinaten der Stationspunkte

zur Verfügung stehen. Bevor das programmgesteuerte Vorgehen bei dieser Subroutine im Detail beschrieben wird, soll zunächst der Algorithmus für die Berechnung der Stationshöhen vorgestellt werden.

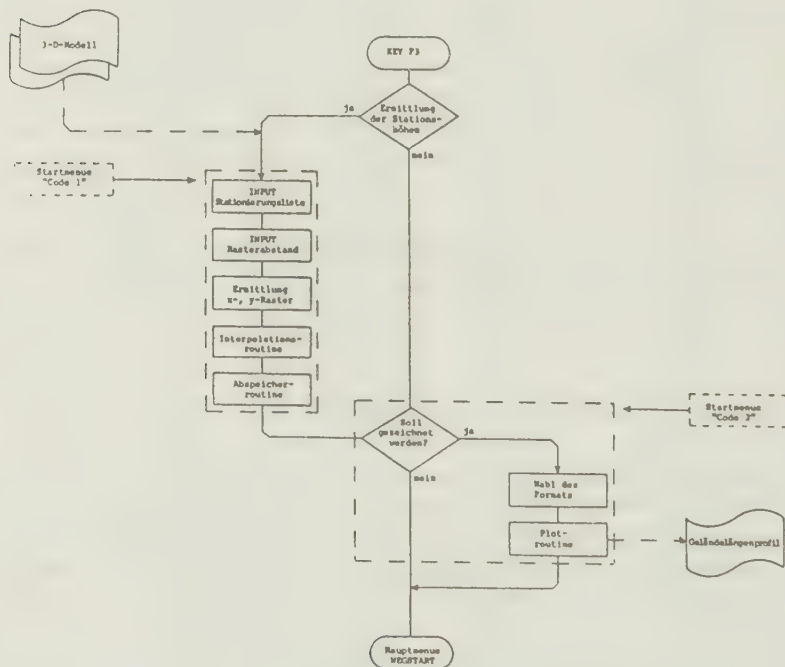


Abb.52: Ablaufschema fuer das Programm "GELÄNDE-LÄNGENPROFIL"

5.5.1 Algorithmus für die Berechnung der Straßenhöhen

Der Aufbau eines Geländemodells nach einem Vorschlag von BENNER et al. (1973) wurde bereits in Kapitel 2 ausführlich dargestellt. Die Ausführungen von BENNER beinhalten auch Hinweise, wie die Geländehöhen eines beliebigen, durch seine Grundrißkoordinaten gegebenen Punktes ermittelt werden können.

Für die analytische Darstellung des Geländes werden die Rasterflächen eines jeweils lokalen Koordinatensystems, d.h. den x-, y-Koordinaten des linken unteren Eckpunktes werden die Werte 0/0 zugeordnet, durch Flächengleichungen beschrieben. Die Eckpunkte des einzelnen Rasters bilden die Rasterschnittpunkte des Geländemodells, die nun lokal durch den Rasterabstand (= Rasterelementweite) in x- und y-Richtung und durch die Höhe über NN (= z-Koordinate) definiert werden. Die räumliche Betrachtung (x,y,z) führt dazu, daß Flächen 2. Ordnung entstehen, die auch als hyperbolische Paraboloiden bezeichnet werden. BENNER et al. (1973) geben dafür folgende Gleichung an:

$$Z = A_0 + A_1 \cdot X^* + A_2 \cdot Y^* + A_3 \cdot X^* \cdot Y^* \quad (14)$$

mit

Z = Höhe über NN (des gesuchten Punktes)

X^* = lokale X-Koordinate

Y^* = lokale Y-Koordinate

A_i = Flächenkoeffizienten.

Die Formeln für die Ermittlung der Flächenkoeffizienten wurden ebenfalls von BENNER übernommen. Im einzelnen werden diese wie folgt bestimmt:

$$A_0 = Z_1 \quad (15)$$

$$A_1 = (Z_2 - Z_1)/DX \quad (16)$$

$$A_2 = (Z_3 - Z_1)/DY \quad (17)$$

$$A_3 = (Z_1 - Z_2 - Z_3 + Z_4)/(DX \cdot DY) \quad (18)$$

mit

Z_i = Geländehöhen über NN in den Rasterpunkten

DX = Rasterelementweite in X-Richtung

DY = Rasterelementweite in Y-Richtung

Das Problem bei den Programmierarbeiten lag weniger darin, diesen differenziert vorgegebenen Algorithmus für die Höhenberechnung in geeigneter Weise umzusetzen, sondern vielmehr darin, über die Datei mit den Koordinaten der Stationen und in Verbindung mit dem 3-D-Geländemodell jeweils die Rastereckpunkte und damit das rasterfeldbezogene Koordinatensystem zu identifizieren, um die Flächenkoeffizienten, die örtlichen Koordinaten und die Höhen der Stationspunkte ermitteln zu können.

In Abb. 53 ist das Vorgehen schematisch skizziert. Zu den auf das gesamte Rasterfeld bezogenen Koordinaten (x-Stat/y-Stat) eines Stationspunktes werden über eine Abfrageroutine die nächst größeren x-,y-Koordinaten, die identisch mit x-Raster/y-Raster sind, festgestellt. Über die Rasterelementweite können die Koordinaten der anderen Rastereckpunkte errechnet werden. Damit stehen die Parameter für die Ermittlung der Flächenkoeffizienten zur Verfügung. Die Differenz zwischen x-Stat/y-Stat und den x-,y-Koordinaten bei der Höhe Z_1 gibt die für die Flächengleichung erforderlichen lokalen x-,y-Koordinaten an. Mit diesen Eingangsgrößen

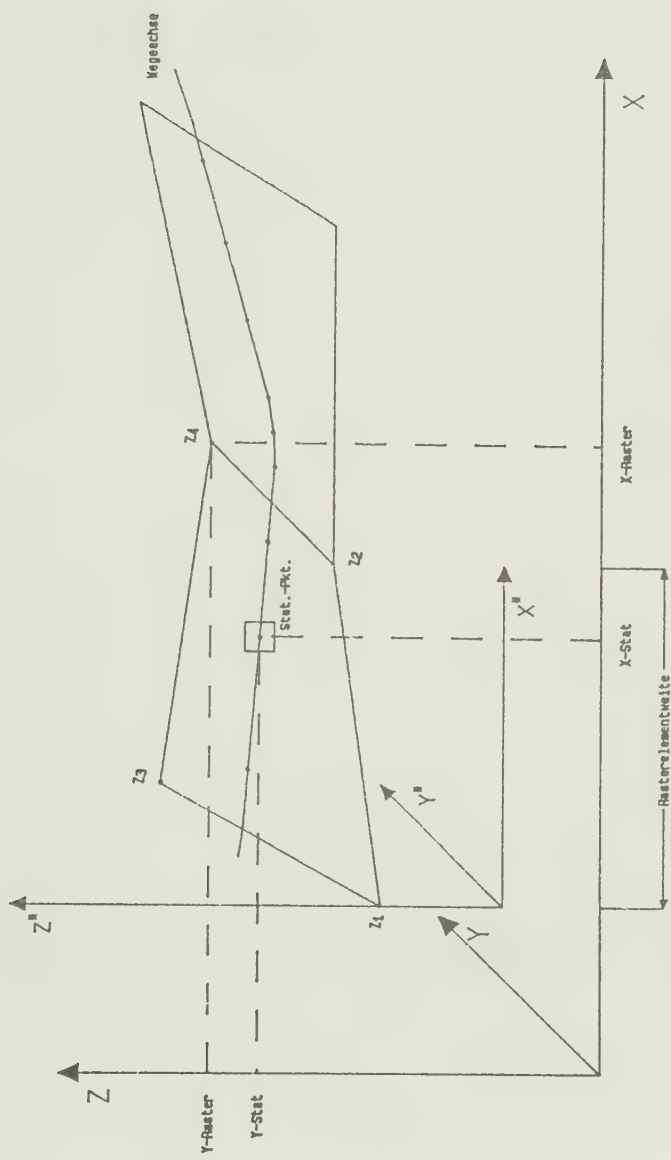


Abb. 53: Schemaskizze zur Ermittlung der Stationshöhen

kann die Höhenberechnung nach dem von BENNER ausgearbeiteten Vorschlag ablaufen.

5.5.2 Planungsablauf

Für den Planer beginnt der Ablauf des Programms "G-LÄNGENPROFIL" mit dem Bildschirmmenue

ERMITTLUNG DER STATIONSHÖHEN	1
ZEICHNEN DES GELÄNDELÄNGENPROFILS	2
HAUPTMENUE	3

Für die unter Code 1 aufrufbare **Ermittlung der Stationshöhen** werden zunächst die Dateien, in denen das digitale Geländemodell und die Stationierungsliste abgelegt wurden, abgefragt. Dem Anwender bleibt damit die Möglichkeit, zum einen aus den zur Verfügung stehenden Geländemodellen, wie etwa "3_TOPO_T" oder "3_TOPO_L", auszuwählen und zum anderen mit verschiedenen Achsvarianten weiterzuarbeiten. Als weitere Variable ist der Rasterabstand vorzugeben. Dieser Faktor wird während des Aufbaus des Geländemodells in einem Ausdruck festgehalten. Mit dem oben beschriebenen Algorithmus erhält man nach der Vorgabe eines Dateinamens die für die Zeichenroutine erforderliche Datei mit Stationslängen und Stationshöhen und den dazugehörigen Ausdruck "GELÄNDELÄNGENPROFIL", der den Dateinamen und die Anzahl der abgespeicherten Datensätze ausweist.

Was die Anwendung auf die Teststrecke anbelangt, so muß in Verbindung mit diesem Planungsschritt auf Kapitel 6 vorgegriffen werden. Die Gegenüberstellung von klassischer und computergestützter Projektierung zeigt eindeutig, daß die kartographischen Informationen zur Topographie für das Untersuchungsgebiet "Hollmaier Leite" selbst bei einem Rasterabstand von 6 m zu ungenau sind. Insofern muß hier vorweg hervorgehoben werden, daß der aufgezeigte Übergang von der horizontalen in die vertikale Planungsebene nur dazu dient, die methodischen Möglichkeiten zu veranschaulichen. Als Grundlage für alle in diesem Zusammenhang anstehenden Berechnungen diente das 3-D-Modell aus der topographischen Karte mit einer Rasterelementweite von 6 m. Das führte letztlich zu folgendem Ausdruck:

=====

D A T E I GELÄNDELÄNGENPROFIL

IN DER DATEI GELPROF300 WURDEN 55 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

=====

Nach der Vorgabe der zuvor ausgedruckten Informationen kann für die **Zeichnung des Geländelängenprofils** wiederum alternativ zwischen DIN-A 1-, DIN-A 2- und DIN-A 3-Format gewählt werden. Um den Anwender davon zu entlasten, jeweils vor dem Plotten feststellen zu müssen, welcher Wegeabschnitt bei einem bestimmten Maßstab unter Berücksichtigung von Stationshöhen und -längen auf die gewählte Blattgröße paßt, wurde ein entsprechendes Dialogsystem in das Plotprogramm integriert.

Nach der Vorgabe der Maßstäbe für die Längendarstellung auf der Abszisse und die Höhendarstellung auf der Ordinate prüft der Rechner zunächst, ob die Gesamtlänge des Weges die verfügbare

Länge der x-Achse überschreitet. Da im Regelfall 1 : 100 : 1000 gezeichnet wird und beispielsweise auf einem DIN-A 1-Blatt die x-Achse maximal 76 cm (= 760 m) lang sein darf, die Wegeachse jedoch meist länger ist, wird über das Display entweder nach der maximal darstellbaren Länge - im geschilderten Fall = Gesamtlänge von 760 m - oder nach einem kleineren Maßstab gefragt. Bei einer Veränderung des Maßstabes wird der Prozeß wiederholt. Ansonsten wird in einem zweiten Schritt festgestellt, ob zu allen Stationslängen in dem zuvor festgelegten Abschnitt, wie etwa 760 m, die dazugehörigen Stationshöhen - bei DIN-A 1 und einem Maßstab von 1: 100 darf der Höhenunterschied maximal 49 m sein - innerhalb des vorgegebenen Blattformats liegen. Falls der Grenzwert nicht überschritten wird, folgt die Zeichnung des Höhenplanes für den ersten Abschnitt. Ist dies nicht gegeben, so fragt der Rechner, analog zur Begrenzung der x-Achse, nach der maximal möglichen Länge der y-Achse oder nach einer Maßstabsveränderung. Bei einer Begrenzung der y-Achse auf 49 cm wird zu der Stationshöhe, bei der der Höhenunterschied zum Anfangspunkt 49 m beträgt, die dazugehörige Stationslänge festgestellt. Die Zeichnung wird für diesen reduzierten Abschnitt angefertigt. Bei einer Maßstabsveränderung wird erneut geprüft, ob die hardwarebedingten Grenzen eingehalten werden können.

Für die anderen Blattgrößen erfolgt die Abfrage in gleicher Weise. Bei einem Maßstab von 1 : 100 : 1000 liegt die maximale Länge auf DIN-A 2-Format bei 520 m und der größte Höhenunterschied darf 32 m nicht übersteigen. Die entsprechenden Werte bei DIN-A 3 sind 340 m und 20 m. In der Zeichnung des Geländelängenprofils wird, wie das Beispiel für die Stationen von 0 bis 300 m in Abb. 54 verdeutlicht, abweichend von der klassischen Methode darauf verzichtet, ein detailliertes Schriftband anzulegen. Dies auf Grund folgender Überlegungen:

- Bei kleinem Maßstab überschneiden sich die Zahlenangaben zu den einzelnen Stationspunkten; die Übersichtlichkeit geht verloren,



PLAN: LAENGENPROFIL HOLLMAIER LEITE

HOEHEN 1: 100
LAENGEN 1: 1000

Abb.54: Gelaendelaengenprofil (verkleinert)

- auf die üblicherweise im Schriftband festgehaltenen Planungsparameter kann jederzeit über die während der Planung angelegten Dateien zurückgegriffen werden.

Die sonstige Beschriftung umfaßt den Projektnamen und die Maßstäbe für Länge und Höhe. Die maximale Länge und Höhe für den gezeichneten Abschnitt werden ausgedruckt.

Die schrittweise Zeichnung verlangt zusätzlich zum einen die Überlappung der Profilabschnitte und zum anderen eine programmgesteuerte Fortsetzung der Plotroutine. Zu diesem Zweck wurde die Option eingebaut, daß, ohne das Programm neu starten zu müssen, weitergearbeitet werden kann. Der Anfangspunkt des neuen Abschnitts entspricht jeweils dem Endpunkt des zuvor gezeichneten Profilstückes.

Mit dem Abschluß der Zeichenarbeiten wird automatisch in das Hauptmenue zurückgegangen.

5.6 PROGRAMM "WEGSTART" - GRADIENTE

Diese Subroutine subsumiert die Planungs- und Berechnungsschritte von der Festlegung der Knickpunkte und deren Ausrundung bis hin zur Berechnung der Straßenhöhen und den Höhendifferenzen ("Rote Zahl") zwischen Gradienten und Geländelängenprofil.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß sich der Vorschlag von KUONEN (1983) für den Einbau in ein Computerprogramm gut eignet. Voraussetzung sind allerdings die Längen (Abszissenwerte) und Höhen (Ordinatenwerte) der Knickpunkte. Nachdem es sich um x-, y-Koordinaten handelt, bietet es sich an, diese mit Hilfe einer vorgeschalteten Digitalisiererroutine zu ermitteln. Die Umrechnung mit dem jeweils vorgegebenen Maßstab führt zu den gewünschten Werten.

Der Rechengang bis zu Ermittlung der "Roten Zahl" kann in folgende "programmiergerechte" Einzelschritte unterteilt werden.

1. Berechnung der Steigungen der Tangenten.
2. Ermittlung eines Krümmungsfaktors innerhalb der Bögen, mit dem die Veränderung der Steigung pro lfm Ausrundungslänge zum Ausdruck gebracht wird.
3. Berechnung des Steigungswechsels zwischen den Stationspunkten innerhalb der Ausrundungsbögen.
4. Berechnung der Distanzen zwischen den Stationspunkten, wobei als zusätzliche Stationen die Anfangs- und Endpunkte der Ausrundungsbögen einbezogen werden.
5. Berechnung der Straßenhöhen aus den Parametern Stationsabstand und den Steigungen zwischen den Stationspunkten.
6. Ermittlung der "Roten Zahl" = Differenz zwischen Straßenhöhe und Terrainhöhe.

Bei den Programmierarbeiten wurde folgendes Ausgangsmenue zu Grunde gelegt:

FESTLEGUNG DER GRADIENTE	1
ZEICHNEN DER GRADIENTE	2
HAUPTMENUE	3

5.6.1 Festlegung der Gradiente

Die Planung der Gradiente verläuft, wie auch das Ablaufschema in Abb. 55 verdeutlicht, sehr ähnlich zur Wegeachsenplanung. Verschieden ist lediglich die Betrachtungsebene: vertikal im ersteren, horizontal im letzteren Fall. Vorzugeben sind die Maßstäbe, die für die Darstellung der Stationslängen und -höhen im Geländelängenprofil benutzt wurden, und die dazugehörige Datei, die diese Parameter beinhaltet. Anstatt von Tangentenschnittpunkten auf der topographischen Karte müssen hier die Knickpunkte auf dem geplotteten Geländelängenprofil gekennzeichnet und anschließend digitalisiert werden. Der Verlauf der Ausgleichstangenten (gestrichelt gezeichnet) und damit die Lage der Knickpunkte kann Abb. 56 entnommen werden. Die AXIS-ALIGN-Routine verlangt zuvor die Erfassung des Koordinatenursprungs und eines weiteren beliebigen Punktes auf der x-Achse.

Der Planer hat jederzeit die Möglichkeit, den Vorgang nach dem Digitalisieren eines Knickpunktes zu beenden. Eine entsprechende Display-Abfrage wurde eingebaut. Eine abschnittsweise Planung, wie sie ggf. auf Grund der Zeichenmodalitäten; die für die Erstellung des Geländelängenprofils gewählt wurden, erforderlich ist, läßt sich somit leicht realisieren.

Mit dem Abschluß der Digitalisierarbeiten wird ein Kontrollausdruck mit den Tangentensteigungen angefertigt, der es dem Planer erlaubt, zu prüfen, ob die Steigerungsrestriktionen eingehalten werden konnten. Der Ausdruck für die ersten fünf Tangenten (Seite 197) weist aus, daß lediglich für einen kurzen Streckenabschnitt (Tangente 3) ca. 14 % Steigung akzeptiert werden müssen.

Für die Fortsetzung des Programmes erwartet der Rechner eine Bestätigung, daß die gewählten Knickpunkte akzeptabel sind.

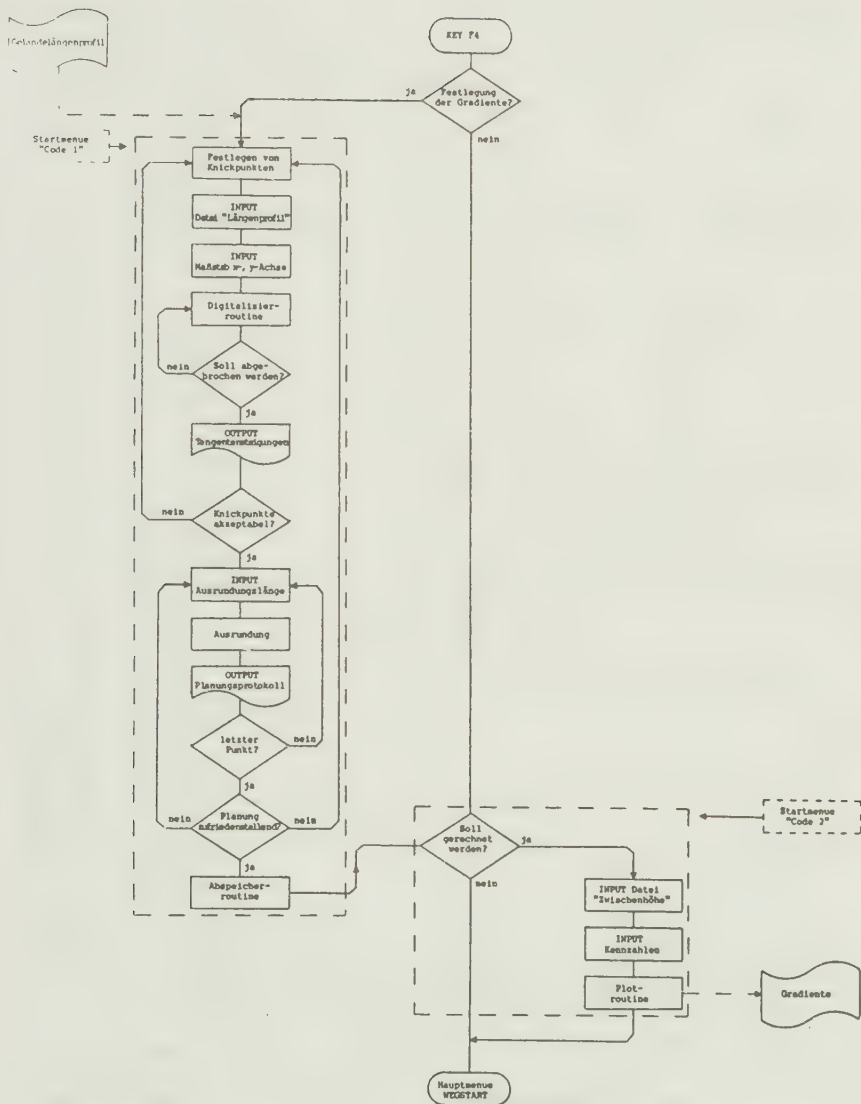


Abb.55: Ablaufschema fuer das Programm "GRADIENTE"

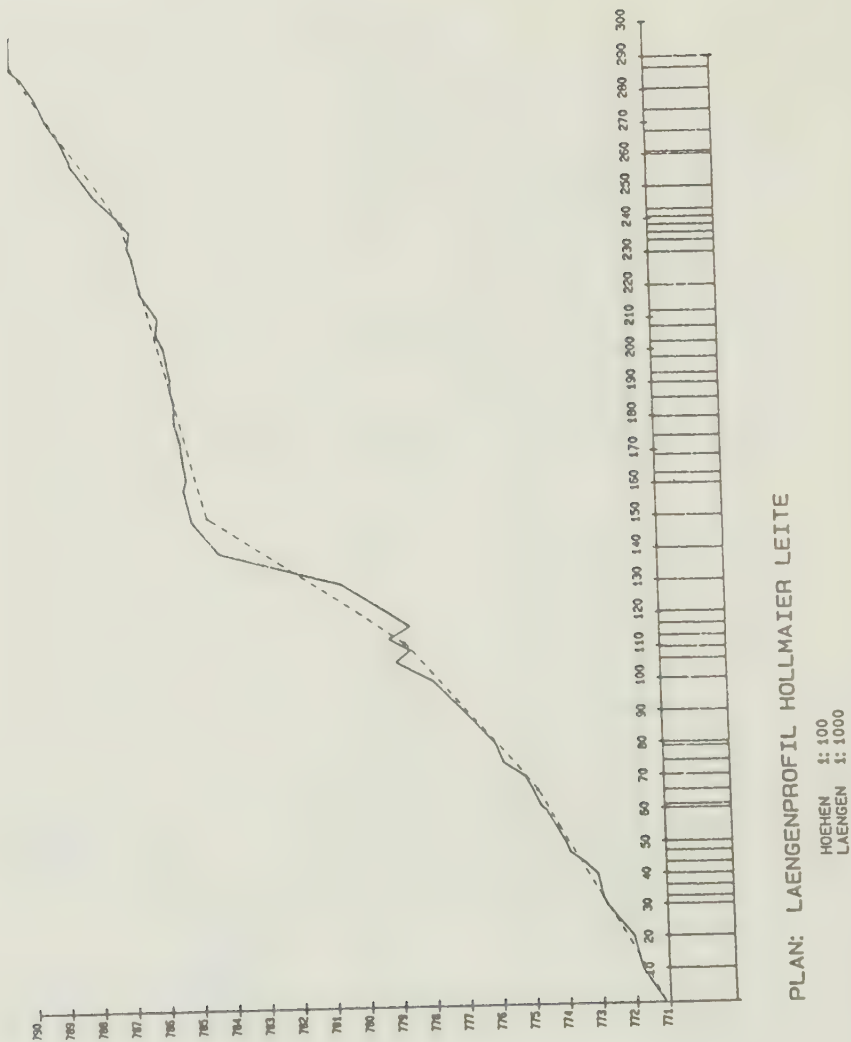


Abb.56: Gelaendelaengenprofil und Gradiente (verkleinert)

```

=====
KONTROLLAUSDRUCK T A N G E N T E N S T E I G U N G E N
=====

```

```

TANGENTE 1          STEIGUNG:    5.53
=====

```

```

TANGENTE 2          STEIGUNG:    8.76
=====

```

```

TANGENTE 3          STEIGUNG:   14.78
=====

```

```

TANGENTE 4          STEIGUNG:    2.62
=====

```

```

TANGENTE 5          STEIGUNG:    6.71
=====

```

Falls eine Verschiebung der Knickpunkte erforderlich ist, wird automatisch die Routine für das Digitalisieren der Knickpunkte neu gestartet.

Im weiteren Programmablauf muß als Grundlage für die Ausrundung zu jedem Knickpunkt die Ausrundungslänge über die Tastatur des Rechners eingegeben werden. Damit wird dem Planer die Möglichkeit gegeben, die im Zusammenhang mit der klassischen Projektierung beschriebenen Restriktionen (Mindestausrundungsradien) einzuhalten.

Die Übergangsbögen zwischen zwei Tangenten werden als Parabeln berechnet, da damit der Vorteil genutzt werden kann, daß sich die Neigung proportional zur Horizontalabstanz ändert (vgl. auch KUONEN, 1983). Die Programmierarbeiten wurden dadurch wesentlich erleichtert.

Parallel zur Planung wird zu jedem Knickpunkt ein Planungsprotokoll ausgedruckt. Für die Teststrecke ergeben sich aus der Ausrundung folgende Kennzahlen:

=====

PLANUNGSPROTOKOLL G R A D I E N T E

KNICKPUNKT-NR.	: 1
AUSRUNDUNGSFORM	: WANNE
STEIGUNG TANGENTE 1	: 5.53
STEIGUNG TANGENTE 2	: 8.76
STEIGUNGSÄNDERUNG	: 3.23
AUSRUNDUNGSLÄNGE	: 40
AUSRUNDUNGSRADIUS	: 1238.39

=====

=====

PLANUNGSPROTOKOLL G R A D I E N T E

KNICKPUNKT-NR.	: 2
AUSRUNDUNGSFORM	: WANNE
STEIGUNG TANGENTE 1	: 8.76
STEIGUNG TANGENTE 2	: 14.78
STEIGUNGSÄNDERUNG	: 6.02
AUSRUNDUNGSLÄNGE	: 30
AUSRUNDUNGSRADIUS	: 498.34

=====

=====

PLANUNGSPROTOKOLL G R A D I E N T E

KNICKPUNKT-NR. : 3
 AUSRUNDUNGSFORM : KUPPE
 STEIGUNG TANGENTE 1 : 14.78
 STEIGUNG TANGENTE 2 : 2.62
 STEIGUNGSÄNDERUNG : -12.16
 AUSRUNDUNGSLÄNGE : 40
 AUSRUNDUNGSRADIUS : 328.95

=====

PLANUNGSPROTOKOLL G R A D I E N T E

KNICKPUNKT-NR. : 4
 AUSRUNDUNGSFORM : WANNE
 STEIGUNG TANGENTE 1 : 2.62
 STEIGUNG TANGENTE 2 : 6.71
 STEIGUNGSÄNDERUNG : 4.09
 AUSRUNDUNGSLÄNGE : 40
 AUSRUNDUNGSRADIUS : 978

=====

Nach der Ausrundung aller Knickpunkte wird das Programm
 "GRADIEN TE" mit dem Bildschirmmenue

FESTLEGUNG NEUER KNICKPUNKTE	1
ÄNDERUNG DER AUSRUNDUNGSLÄNGEN	2
PLANUNG ZUFRIEDENSTELLEND	3

unterbrochen.

Code 1 bedeutet eine Wiederholung der gesamten Planung.

Mit der Option 2 wird bei einer Beibehaltung der Knickpunkte die Möglichkeit offeriert, neue Ausrundungslängen vorzugeben.

Die Fortsetzung des Programmes erfolgt mit der Angabe, daß die bisherige Planung zufriedenstellend ist, d.h. alle Planungsrestriktionen eingehalten wurden.

Mit den weiteren Subroutinen werden letztendlich als Ergebnis der Gradientenfestlegung die für die nachfolgenden Schritte erforderlichen Daten errechnet und abgespeichert. Als Grundlage für das Plotprogramm werden in der ersten Datei die Stationslängen incl. der Längen für die Anfangs- und Endpunkte der Ausrundungsbögen und die dazugehörigen Stationshöhen festgehalten. Unter dem Namen "DATEI ZWISCHENHÖHE FÜR DAS PLOTTE DER GRADIENSTE" werden der frei wählbare Dateinamen und die Anzahl der Datensätze ausgedruckt.

=====

DATEI ZWISCHENHÖHE FÜR PLOT DER GRADIENSTE

IN DER DATEI ZWIHÖ300 WURDEN 65 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

=====

Der Weg zur zweiten Datei führt über die Ermittlung der Höhen­differenzen zwischen Straßenhöhen und Geländehöhen an den Stationspunkten, wobei zuvor für diesen Rechengang die Hilfspunkte Anfang und Ende der Ausrundungskurven eliminiert werden müssen. Abgespeichert werden die Höhenwerte für Straße und Gelände und die "Rote Zahl". Der Ausdruck mit Dateinamen und Anzahl der Datensätze lautet "DATEI ROTE ZAHL".

=====

DATEI R O T E Z A H L

IN DER DATEI RZ300 WURDEN 55 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

=====

Falls gewünscht, kann die komplette Datei ausgedruckt werden (siehe nachfolgende Seite). Der Abschluß des Programms ist gleichbedeutend mit der Rückkehr ins Ausgangsmenue.

5.6.2 Zeichnen der Gradiente

Beim Einzeichnen der Gradiente (Ausgangsmenue, Code 2) in das Geländelängenprofil ist darauf zu achten, daß, auch bei einer ggf. abschnittswisen Darstellung des Geländeverlaufs, die Begrenzungen übereinstimmen. Als Kennwerte werden daher benötigt:

- die Maßstäbe von Abszisse und Ordinate,
- das gewählte Zeichenformat und
- der maximale Wert für Stationslänge und Stationshöhe pro Abschnitt.

Diese Informationen, die aus dem Plan "LÄNGENPROFIL" und dem dazugehörigen Ausdruck entnommen werden können, fragt der Rechner ebenso wie die Angaben zur Datei "ZWISCHENHÖHE" im Display ab. Die Zeichenroutine wurde im Hinblick auf die abschnittsweise Zeichnung wiederum so aufgebaut, daß am Ende gefragt wird, ob weitergezeichnet werden soll oder nicht. Mit der Fortsetzung des Plotprogramms wird der Planer aufgefordert, den nächsten Abschnitt des Geländelängenprofils in den Plotter einzulegen und die neue maximale Stationslänge und -höhe einzugeben.

ROTE Z A H L

PUNKT.-NR.	STAT.-LÄNGE	GELÄNDEHÖHE	STRASSENHÖHE	ROTE Z A H L
1	2	3	4	5
1	0.00	771.12	771.12	0.00
2	10.00	771.80	771.68	-.12
3	20.00	772.03	772.24	.21
4	30.00	772.81	772.80	-.01
5	32.61	772.93	772.95	.02
6	36.24	773.00	773.15	.15
7	39.87	773.07	773.35	.28
8	43.50	773.43	773.72	.29
9	47.13	773.89	773.75	-.14
10	50.00	774.00	773.92	-.08
11	60.00	774.57	774.58	.01
12	61.18	774.72	774.66	-.06
13	65.57	774.93	774.97	.04
14	69.96	775.17	775.29	.12
15	74.35	775.83	775.63	-.20
16	78.74	776.00	775.98	-.02
17	80.00	776.05	776.08	.03
18	90.00	776.93	776.94	.01
19	100.00	777.87	777.82	-.05
20	106.22	779.00	778.47	-.53
21	109.75	778.55	778.87	.32
22	113.28	779.19	779.29	.10
23	116.81	778.55	779.74	1.19
24	120.34	779.10	780.21	1.11
25	130.00	780.60	781.64	1.04
26	140.00	784.24	782.89	-1.35
27	150.00	785.05	783.80	-1.25
28	160.00	785.26	784.41	-.85
29	163.17	785.17	784.57	-.60
30	168.73	785.27	784.76	-.51
31	174.29	785.34	784.91	-.43
32	179.85	785.50	785.05	-.45
33	185.41	785.49	785.19	-.30
34	190.00	785.60	785.31	-.29
35	192.88	785.59	785.38	-.21
36	197.70	785.68	785.51	-.17
37	202.52	785.76	785.64	-.12
38	207.34	785.98	785.77	-.21
39	212.16	785.92	785.90	-.02
40	220.00	786.43	786.15	-.28
41	230.00	786.63	786.43	-.20
42	233.59	786.77	786.57	-.20
43	235.97	786.73	786.67	-.06
44	238.35	786.70	786.77	.07
45	240.73	786.89	786.88	-.01
46	243.11	787.09	786.99	-.10
47	250.00	787.77	787.37	-.40
48	260.00	788.43	788.02	-.41
49	260.96	788.43	788.08	-.35
50	267.41	788.70	788.51	-.19
51	273.87	789.13	788.94	-.19
52	280.32	789.39	789.37	-.02
53	286.78	789.80	789.80	0.00

Mit dem Programmstop erfolgt der direkte Übergang zum Hauptmenue.

Die Möglichkeit, den Höhenplan zusammen mit der Gradiante auf dem Bildschirm zu generieren, wurde nicht vorgesehen. Die Darstellung auf dem Bildschirm ist nicht übersichtlich genug, um eine Gradientenlage hinreichend beurteilen zu können. Letztlich sollte die Gradiante auch nur im Wechselspiel mit der nachfolgenden Erdmassenberechnung verändert werden.

5.7 PROGRAMM "WEGSTART" - QUERPROFIL

Das Programm "QUERPROFIL" verlangte auf Grund seines heterogenen Aufbaus (vgl. Abb. 57) mit der Ermittlung der Koordinaten der Geländehöhen der einzelnen Querprofilpunkte, der Darstellung der Geländequerprofile, dem Einlegen der Kunstquerprofile und der Anlage einer für die Erdmassenberechnung verwendbaren Querprofildatei die umfangreichsten Programmierarbeiten. Für den Anwender wurde der Planungsprozeß in folgende Blöcke unterteilt:

BERECHNUNG DER QUERPROFILPUNKTE	1
AUFBAU DER QUERPROFILDATEI	2
HAUPTMENUE	3

5.7.1 Berechnung der Querprofilpunkte

Analog zu den Berechnungen für das Geländelängenprofil müssen für die Querprofilpunkte die x-,y-Koordinaten und die Geländehöhen ermittelt werden. Mit der Wahl von Option 1 wird nach Vorgabe

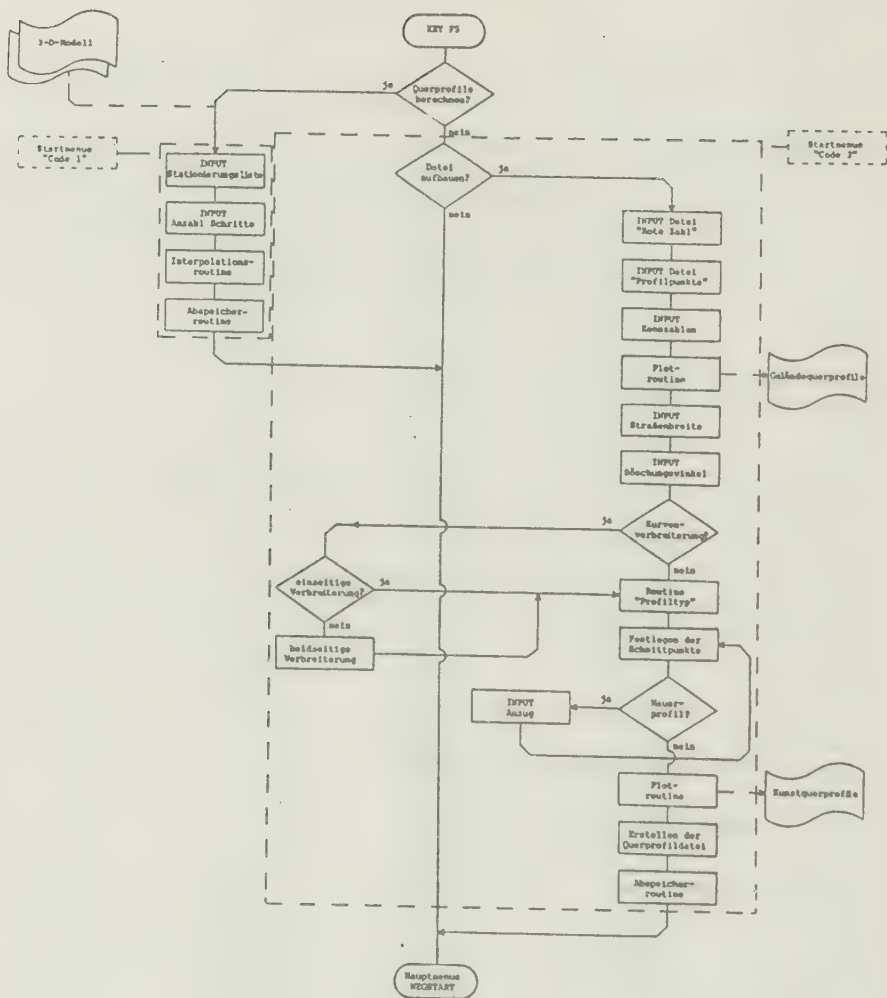


Abb.57: Ablaufschema fuer das Programm "QUERPROFIL"

der Stationierungsliste, ausgehend von den x-,y-Werten der Stationenpunkte und den Richtungswinkeln der Tangenten, die Lage der Querprofilpunkte in Horizontalprojektion senkrecht (in den Kurven radial) zur Wegeachse ermittelt. Der Programmablauf läßt es zu, die aufzunehmende Querprofilbreite zu variieren. Dies geschieht über die Vorgabe der gewünschten Anzahl der Querprofilpunkte links und rechts der Wegeachse. Dabei ist zu berücksichtigen, daß der Algorithmus so aufgebaut wurde, daß der Abstand zwischen den Querprofilpunkten grundsätzlich $1/2 \times$ Straßenbreite - dieser Parameter wird im Display abgefragt - beträgt.

Für die Höhenberechnung zu den Querprofilpunkten muß erneut auf das digitale Geländemodell und damit auf den bereits in Kapitel 5.5 näher behandelten Algorithmus zurückgegriffen werden. Dies bedeutet auch, daß als Eingangsgrößen die Höhenwerte der Rasterpunkte (3-D-Modell) und der Rasterabstand benötigt werden. Entsprechende Display-Abfragen wurden vorgesehen.

Der Rechengang selbst mußte derart modifiziert werden, daß der Geländeverlauf links und rechts der Straße erfaßt und die Einzelwerte einem Profil zugewiesen werden können.

Die Abspeicherroutine sorgt dafür, daß zum einen den von der Wegemittellinie ausgehenden konstanten Abstandswerten die dazugehörigen Geländehöhen zugeordnet und zum anderen diese neu errechneten Werte mit den aus der Stationierungsliste entnommenen Parametern, nämlich Bezeichnung der Stationspunkte, Stationsabstand und Kurvenradius und -richtung, zusammengefaßt werden. Diese neue Datei, deren Kennwerte Dateinamen und Anzahl der Datensätze im nachfolgenden Ausdruck "GRUNDDATEI QUERPROFIL" festgehalten werden, soll auch weiterhin den Zugriff zu den wesentlichen Planungsgrößen möglichst einfach gestalten.

GRUNDDATEI QUERPROFIL

IN DIE DATEI GRUNDQ300 WURDEN 270 DATENSÄTZE GESPEICHERT

5.7.2 Aufbau der Querprofildatei

Nach dem programmierten Rücksprung ins Ausgangsmenue kann der Planer mit dem zweiten Programmteil über die Darstellung der Gelände- und Kunstquerprofile und mit Hilfe der entsprechenden Speicher- und Verknüpfungsroutinen die Grundlage für die Erdmassenberechnung schaffen. Das Kernproblem bei den Programmierarbeiten lag darin, zu den unterschiedlichsten Geländeausprägungen programmgesteuert die passenden Kunstquerprofile zu finden. Erschwert wurde dies durch die Regelung, daß bei Kurvenradien < 50 m einseitige Fahrbahnverbreiterungen nach innen und bei Radien < 20 m Verbreiterungen hälftig nach innen und nach außen zu berücksichtigen sind.

Der Rechen- und Plotroutine vorgeschaltet, erwartet der Rechner zunächst die Angaben (Dateinamen und Anzahl der Datensätze) zu den Dateien "ROTE ZAHL" und "GRUNDDATEI QUERPROFIL". Darüberhinaus muß angegeben werden, an wieviel Stationspunkten Querprofile aufgenommen und wieviele Querprofilpunkte links und rechts der Achse erfaßt wurden.

Mit dem ersten Unterprogramm werden die Geländequerprofile im Maßstab 1 : 100 auf DIN-A 4-Format (= 5 Profile je Seite) geplottet. Die darstellbare Profilbreite beträgt bei den vorgegebenen Bedingungen 18 m.

In der weiteren Programmsequenz werden jeweils zu den auf einem DIN-A 4-Blatt geplotteten 5 Geländequersprofilen die entsprechenden Kunstquersprofile bestimmt. Als Vorgabe werden über das Display

- die Straßenbreite in m,
- das berg- und talseitige Böschungsverhältnis als absolute Neigung und
- der Faktor F für die Kurvenverbreiterung (vgl. Formel (8) Seite 121 mit $F = 20$)

verlangt.

Nachfolgend wird festgestellt, ob eine Kurvenverbreiterung, ggf. welcher Art, erforderlich ist. Damit wird je nach den Eingangsgrößen der Sprung in eine der Subroutinen entweder für die Innenverbreiterung bei Links- oder Rechtskurven oder für die beidseitige Verbreiterung gesteuert.

Die Entscheidung für einen Querprofiltyp ohne Maßgabe einer Kurvenverbreiterung läuft nach dem im folgenden beschriebenen Schema ab.

Abb. 58 zeigt dazu zunächst die zu erwartenden Kombinationen. R.Z. steht für "Rote Zahl" und h_i (h_j) mit i (j) = 1 ... n bezeichnet die Höhe über NN der Querprofilpunkte.

Bei Erfüllung der jeweils zu einem Profiltyp angegebenen Bedingungen legt das Programm fest,

- ob neben den Böschungsendpunkten ein weiterer Schnittpunkt Straße - Gelände zu berechnen ist und wo dieser ggf. liegt,
- wo Einschnitt- und Dammböschung anzulegen sind und
- ob es sich um ein Auftrags-, ein Abtrags- oder gemischtes Profil handelt.

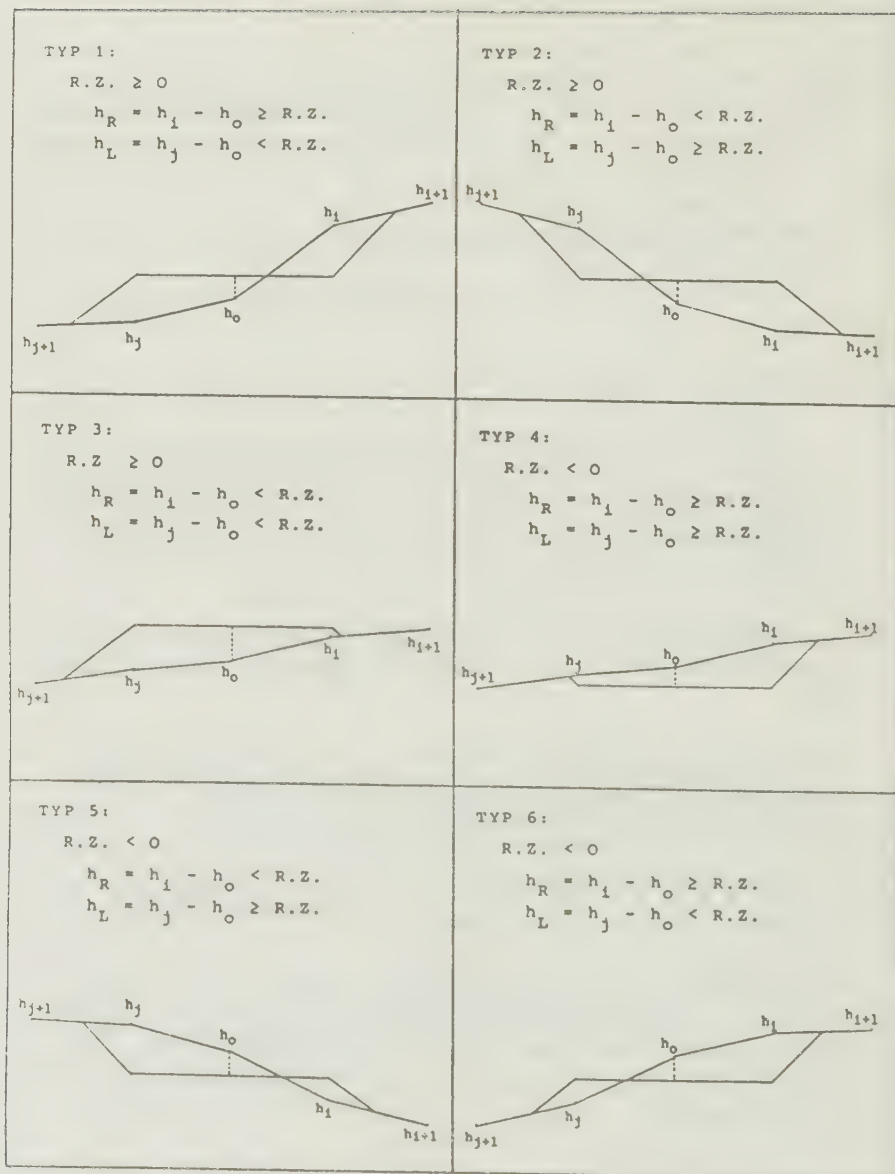


Abb. 58: Querprofiltypen und Bedingungen fuer deren Festlegung

Über die zuletzt genannte Charakterisierung des Profiltyps hinaus, kommt im Hinblick auf die nachfolgende Erdmassenberechnung der Ermittlung der x-,y-Koordinaten der Schnittpunkte zwischen Gelände und Straßenkörper eine entscheidende Bedeutung zu. Die Berechnung der Schnittpunkte der Böschungen mit dem Gelände basiert auf dem in Abb. 59 skizzierten Prinzip.

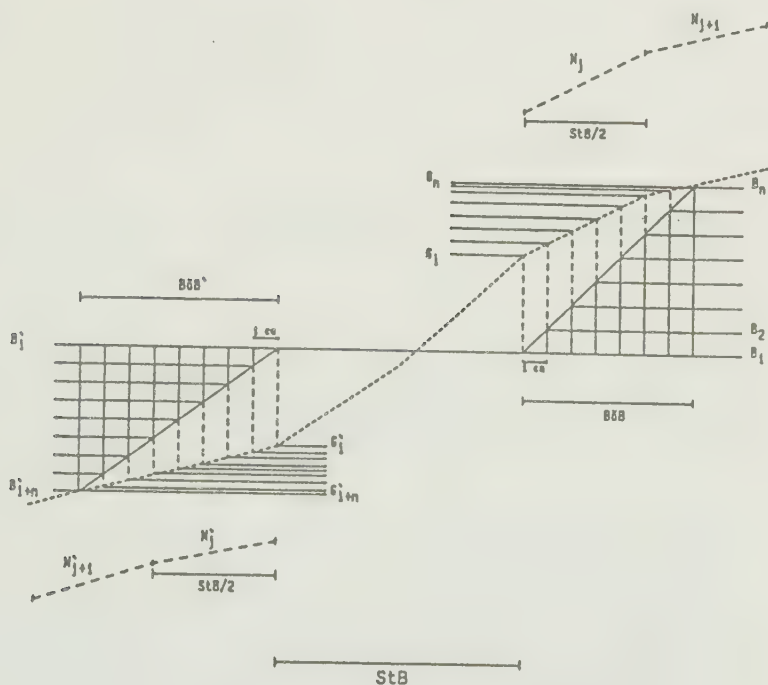


Abb.59: Schema fuer die Berechnung der Schnittpunkte zwischen Gelaende und Strassenkoerper

Der Böschungsverlauf wird durch diskrete Einzelwerte charakterisiert, deren Horizontalabstände (= x-Koordinaten) wie folgt definiert sind:

$$H_1 = \underbrace{\text{StB}/2}_{\text{}} + a_1 \quad (19)$$

$$H_2 = \underbrace{H_1}_{\text{}} + a_2 \quad (20)$$

$$H_n = \underbrace{H_{n-1}}_{\text{}} + a_n = \sum_{n=1}^n a_n \quad (21)$$

mit

H_i = Horizontalabstand

StB = Straßenbreite

$a_1, a_2, \dots, a_n = 1 \text{ cm}$

Die dazugehörigen y-Koordinaten ($B_1 - B_n$) = Höhe über NN ergeben sich schrittweise aus der Multiplikation des Tangens des Böschungswinkels ($\tan \alpha$ = Böschungsverhältnis) mit dem Horizontalabstand und der Addition dieses Wertes zur Geländehöhe im Stationspunkt.

Nach dem gleichen Verfahren wird nach der Ermittlung der Steigung oder des Gefälles zwischen zwei Querprofilpunkten (N_j, N_j') das Gelände durch eine Abfolge von Einzelpunkten beschrieben. Um dabei dem tatsächlichen Geländeverlauf in geeigneter Weise Rechnung tragen zu können, müssen allerdings, nachdem der Abstand zwischen den Querprofilpunkten auf StB/2 fixiert wurde, die x-, y-Koordinaten separat für diese Abschnitte mit gleicher Steigung berechnet werden.

Das Rechenschema erfährt dadurch folgende Erweiterung:

$$H_1 = \underbrace{\text{StB}/2}_{\text{StB}/2} + a_1 \quad (22)$$

$$H_n = \underbrace{H_{n-1}}_{\text{StB}/2} + a_n \quad (23)$$

$$H_{n+1} = \underbrace{H_n}_{\text{StB}/2} + a_{n+1} \quad (24)$$

$$H_{n+m} = \underbrace{H_{n+m-1}}_{\text{StB}/2} + a_{n+m} = \sum_{n=1}^{\text{StB}/2} a_n + \sum_{n=1}^{\text{StB}/2} a_m \quad (25)$$

Die y-Koordinaten ($G_1 - G_i$) berechnen sich im ersten Abschnitt für X_1 bis X_n nach

$$G_i = \frac{G_n - G_1}{\text{Stb}/2} \cdot H_i \quad \text{mit } i = 1 \dots n \quad (26)$$

und im folgenden Abschnitt ($G_{n+1} - G_{n+m}$) nach

$$G_i = \frac{G_{n+m} - G_n}{\text{Stb}/2} \cdot H_i \quad \text{mit } i = 1 \dots m \quad (27)$$

Dieser Vorgang kann theoretisch beliebig oft wiederholt werden. Für die Anwendung in der Praxis wurden Restriktionen eingebaut, auf die in den nachfolgenden Ausführungen noch näher eingegangen wird.

Mit dem bislang aufgezeigten Rechenschema sollte demonstriert werden, auf welchen grundsätzlichen Überlegungen die Berechnung

der x-,y-Koordinaten der Schnittpunkte des Straßenkörpers mit dem Gelände basiert. Für deren exakte Lokalisierung fragt das Programm je nach Böschungstyp in 1 cm-Schritten ab, ob

$G > B$ (Einschnittböschung) oder

$G < B$ (Dammböschung).

Sobald die jeweils gültige Bedingung eintrifft, werden die Koordinaten des Schnittpunktes mit X_{i-1} ; Y_{i-1} festgelegt. Die Berechnung der Böschungskanten erfolgt immer getrennt zunächst für die rechte Seite und anschließend für die linke Seite mit Blick in Richtung des Wegeverlaufs, d.h. zum definierten Endpunkt.

Um die Böschungsflächen nicht zu groß werden zu lassen, gestattet derzeit das Programm eine maximale Bauflächenbreite von 18 m; das entspricht bei einer Straßenbreite von 4,50 m einer Böschungsbreite von 6,75 m. Sollte innerhalb dieser Bemessung kein Schnittpunkt gefunden werden, so erfolgt automatisch der Sprung in die Subroutine "MAUERPROFIL".

Dem Anwender wird mit diesem Unterprogramm die Möglichkeit eröffnet, den Anzug der Außenfront der Mauer vorzugeben, unabhängig davon, ob es sich um eine Stütz- oder Futtermauer handelt. Analog zu dem oben beschriebenen Verfahren werden im weiteren Verlauf im 1 cm-Abstand "Mauerhöhe" und "Geländehöhe" bis zur Erfüllung der zutreffenden Ungleichung gegenübergestellt und die Koordinaten der Schnittpunkte ermittelt.

Die Berechnung der Koordinaten (x,y) des bei einem gemischten Profil zusätzlich zu berücksichtigenden Schnittpunktes zwischen Straßenkrone und Gelände stützt sich auf folgende Zusammenhänge:

$$x = (R.Z. / \frac{h_i - h_0}{Stb/2} \cdot \cos(\arctan(\frac{h_i - h_0}{Stb/2}))) \quad (28)$$

$$y = R.Z. \quad (29)$$

mit

R.Z. = Rote Zahl

StB = Straßenbreite

h_0 = Geländehöhe im Stationspunkt

h_i = Geländehöhe bei StB/2.

Die Auswahl des Querprofiltyps bei einer zusätzlich zu berücksichtigenden Kurvenverbreiterung entspricht vom Ablauf her dem oben beschriebenen Rechenschema. Allerdings muß, um den Vergleich der Geländehöhen (G) mit den Böschungshöhen (B) vom richtigen Ausgangspunkt starten zu können, das Maß für die Kurvenverbreiterung (V), je nach Größenordnung des Kurvenradius, in vollem Umfang einseitig oder hälftig beidseitig zur Straßenbreite hinzugegeben werden. Mit Hilfe der verschiedenen Subroutinen für Rechts-, Links- und beidseitige Verbreiterung wird entsprechend differenziert.

Der Wert für die Verbreiterung wird bereits zu Beginn der Festlegung der Kunstquerprofile bei Radien < 50 m mit $V = F/R$ berechnet. Der Kurvenradius (R) stammt aus der Datei "GRUND-DATEI QUERPROFIL". Der Faktor F wird routinemäßig eingegeben.

Die Rechenroutine selbst muß derart erweitert werden, daß bereits in den Bedingungen, die für die Wahl eines Querprofiltyps maßgeblich sind (vgl. Abb. 58), die Kurvenverbreiterung als konstanter Faktor einfließt. Da für alle Typen gleich verfahren werden kann, wird in Abb. 60 beispielhaft nur für Typ 1 bei beidseitiger Verbreiterung die Veränderung aufgezeigt.

Typ 1:

$$R.Z. > 0$$

$$h_m = \frac{h_{i+1} - h_i}{StB/2} \cdot v + h_i$$

$$h_n = \frac{h_{j+1} - h_j}{StB/2} \cdot v + h_j$$

$$h_R = h_m - h_o > R.Z.$$

$$h_L = h_n - h_o < R.Z.$$

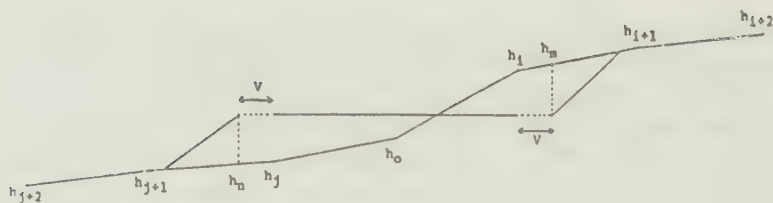


Abb. 60: Auswahlkriterien fuer einen Querprofiltyp bei Kurvenverbreiterung

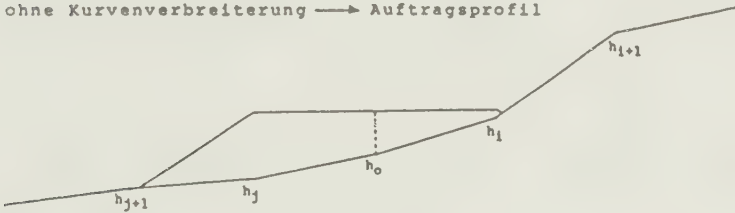
R.Z. steht wiederum für "Rote Zahl", h_i und h_j für die Höhen über NN der Querprofilpunkte rechts und links der Wegeachse und StB für Straßenbreite. v gibt das Maß für die Kurvenverbreiterung an.

Selbstverständlich müssen auch für die Gegenüberstellung von Gelände- und Böschungshöhen die Horizontalabstände H_1 unter Berücksichtigung der Kurvenverbreiterung festgelegt werden. Da dieser Wert als konstanter Faktor behandelt werden kann, stellt die Berechnung der dazugehörigen Höhen kein Problem dar. Letztendlich

können die Bedingungen für die Festlegung der Schnittpunkte an den Böschungskanten unverändert übernommen werden.

Dagegen mußte bei den gemischten Profilen beachtet werden, daß der Schnittpunkt zwischen Planum und Gelände auf Grund der Verbreiterung, wie in Abb. 61 skizziert, auch im Bereich zwischen h_i und h_{i+1} respektive h_j und h_{j+1} liegen kann.

1. ohne Kurvenverbreiterung → Auftragsprofil



2. mit Kurvenverbreiterung → gemischtes Profil

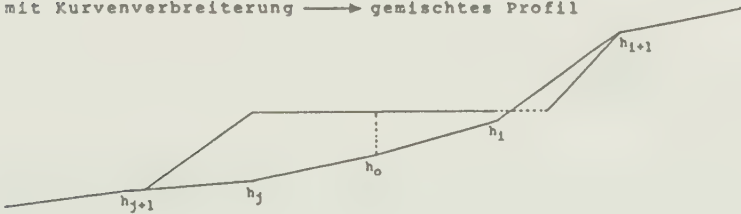


Abb.61: Wechsel des Profiltyps auf Grund der Kurvenverbreiterung .

Folgende Fallunterscheidung ist daher erforderlich:

Fall I : $h_i - h_0 \geq R.Z.$

V ohne Auswirkung auf den Algorithmus

Fall II: $h_i - h_0 < R.Z.$

V bewirkt Änderung des Profiltyps und folgende Erweiterung des Algorithmus

$$x = (R.Z. - (h_i - h_0) / \frac{h_{i+1} - h_i}{Stb/2}) \cdot \cos(\arctan \frac{h_{i+1} - h_i}{Stb/2}) + Stb/2 \quad (30)$$

$$y = R.Z. \quad (31)$$

Die Gleichungsparameter behalten ihre Bezeichnungen bei (siehe Seite 213).

Parallel zu der Berechnung der Koordinaten der Profilpunkte werden die Kunstquerprofile in die Geländequerprofile eingezeichnet. Abb. 62 zeigt die Form der Darstellung. Zu den einzelnen Querprofilen werden die Stationslänge (Stat.- L.), die Rote Zahl (R.Z.) und in den Bogenpunkten ggf. das Maß für die Kurvenverbreiterung (V) ausgedruckt.

Jeweils nach 5 Profilen ergeht an den Anwender über das Display die Aufforderung das Blatt im Plotter zu wechseln und das Programm mit dem Befehl "CONTINUE" fortzusetzen.

PROFIL: 11

STAT.- L.: 60
R.Z. : .01

PROFIL: 12

STAT.- L.: 61.18
R.Z. : -.06
V. : .67

PROFIL: 13

STAT.- L.: 65.57
R.Z. : .04
V. : .67

PROFIL: 14

STAT.- L.: 69.96
R.Z. : .12
V. : .67

PROFIL: 15

STAT.- L.: 74.35
R.Z. : -.2
V. : .67

Abb.62: Querprofile

Ebenfalls in Verbindung mit dem jeweils zutreffenden Algorithmus müssen als Vorbereitung für die Erdmassenberechnung in einer abschließenden Verknüpfungs- und Sortierroutine die für die Ermittlung der Auftrags- und Abtragskubaturen relevanten Eckpunkte aus den Gelände- und Kunstquerprofilen zusammengeführt und der Profiltyp entsprechend gekennzeichnet werden.

Differenziert nach dem Profiltyp werden durch entsprechende Anordnung dieser Punkte über die gesamte Bauflächenbreite getrennt für die Auftrags- und Abtragsflächen geschlossene Polygonzüge angelegt. Tabelle 23 spiegelt das Vorgehen für Auftrags-, Abtrags- und gemischtes Profil an je einem Beispiel mit den Vorgaben

$StB/2 < B\ddot{O}B < StB$ für die rechte Böschung und

$B\ddot{O}B < StB/2$ für die linke Böschung

wider. StB bedeutet Straßenbreite, BÖB Böschungsbreite. Die Parameter h_0 , h_1 und h_j stehen wiederum für die Geländehöhen am Stationspunkt und an den Querprofilpunkten rechts und links der Wegemittellinie. R.Z. bedeutet die "Rote Zahl".

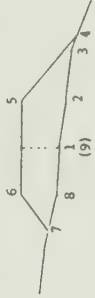
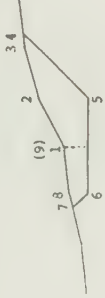
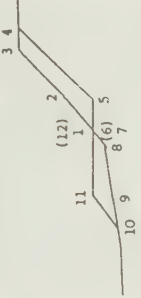
Neben den Koordinaten der Profilpunkte und der Profilcharakterisierung, die über die Unterscheidung in die bekannten Profiltypen eine extra Kennzeichnung von Mauerprofilen vorsieht, werden als weitere Informationen im Hinblick auf die Erdmassenberechnung

- die Stationslängen und
- ein Faktor für die Unterscheidung der Polygonzüge in Auftrags- und Abtragsflächen

der für die Abspeicherung vorgesehenen Variablenliste zugeordnet.

Darüberhinaus werden der Vollständigkeit halber die Parameter-Kurvenradius und -richtung und falls vorhanden das Maß für die Kurvenverbreiterung weitergegeben.

Tabelle 23: Schema für das Abspeichern der Querprofile

Auftragsprofil	Abtragsprofil	Gemischtes Profil
1	2	3
		
Lage des Punktes x y	Lage des Punktes x y	Lage des Punktes x y
1. = Stationspunkt 2. = Geländequerprofil 3. = Geländequerprofil 4. = Schnittpunkt 5. = Kunstquerprofil 6. = Kunstquerprofil 7. = Schnittpunkt 8. = Geländequerprofil 9. = Stationspunkt	1. = Stationspunkt 2. = Geländequerprofil 3. = Geländequerprofil 4. = Schnittpunkt 5. = Kunstquerprofil 6. = Kunstquerprofil 7. = Schnittpunkt 8. = Geländequerprofil 9. = Stationspunkt	1. = Schnittpunkt 2. = Geländequerprofil 3. = Geländequerprofil 4. = Schnittpunkt 5. = Kunstquerprofil 6. = Schnittpunkt 7. = Schnittpunkt 8. = Stationspunkt 9. = Geländequerprofil 10. = Schnittpunkt 11. = Kunstquerprofil 12. = Schnittpunkt
0 $StB/2$ StB aus Berechnung $StB/2$ $-StB/2$ aus Berechnung $-StB/2$ 0	0 $StB/2$ StB aus Berechnung $StB/2$ $-StB/2$ aus Berechnung $-StB/2$ 0	aus Berechnung $StB/2$ StB aus Berechnung $StB/2$ aus Berechnung aus Berechnung 0 $-StB/2$ aus Berechnung $-StB/2$ aus Berechnung
$h_i - h_o$ $h_{i+1} - h_o$ R.Z. R.Z. $h_j - h_o$ 0	0 $h_i - h_o$ $h_{i+1} - h_o$ R.Z. R.Z. $h_j - h_o$ 0	$h_i - h_o$ $h_{i+1} - h_o$ R.Z. R.Z. $h_j - h_o$ 0 $h_j - h_o$ R.Z. R.Z. aus Berechnung

Für den wiederum frei wählbaren Dateinamen und die Anzahl der Datensätze wird der folgende Ausdruck erstellt.

=====

DATEI QUERPROFIL FÜR MASSENBERECHNUNG

IN DER DATEI QUER300 WURDEN 336 DATENSÄTZE GESPEICHERT

=====

Gleichzeitig wird in Verbindung mit der Abspeicherroutine das Hauptmenue generiert.

5.8 PROGRAMM "WEGSTART" - ERDMASSENBERECHNUNG

Das Unterprogramm für die Massenberechnung läßt sich in die beiden Hauptblöcke Massenberechnung und Massenausgleich gliedern (vgl. Abb. 63). Dementsprechend wurde auch das Startmenue gestaltet:

ERDMASSENBERECHNUNG	1
ERDMASSEN AUSGLEICH	2
HAUPTMENUE	3

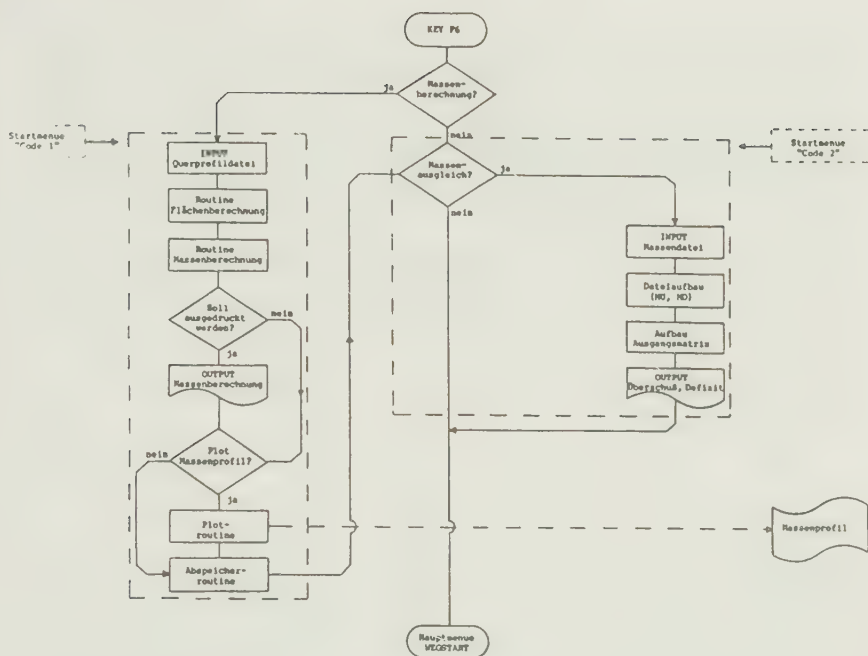


Abb.63: Ablaufschema fuer das Programm "ERDMASSEN-BERECHNUNG"

5.8.1 Die Erdmassenberechnung

Die Ermittlung der Auftrags- und Abtragsvolumina (Code 1) stellt sich auf Grund der vorgeleisteten Programmierarbeiten als triviales Problem dar. Nachdem die Auf- und Abtragsflächen bereits als geschlossene Polygonzüge abgespeichert wurden, können deren Größen nach dem Einlesen der Querprofildatei mit Hilfe des Flächenbe-

rechnungsprogrammes (vgl. Datenbank) berechnet werden. Der Faktor für die Unterscheidung in Auf- und Abtrag sorgt für die richtige Zuordnung sowohl bei den reinen Auf- und Abtragsprofilen, als auch bei den gemischten Profilen, wobei bei letzteren zusätzlich die Identifizierung eines Schnittpunktes zwischen Fahrbahn und Geländequerprofil zur richtigen Lösung führt.

Über die ebenfalls verfügbare Variable Stationsabstand (= Differenz zwischen Länge i und i+1) können die Auftrags- und Abtragsvolumina nach der bekannten Formel

$$V = \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \cdot L \quad (32)$$

berechnet werden.

Vorbereitend für den Erdmassenausgleich wird abschließend jeweils für die Strecke zwischen zwei aufeinanderfolgenden Profilen ausgewiesen, welche Masse innerhalb des Profils verwendet werden kann, welche transportiert (Massenüberschuß) werden muß oder fehlt (Massendefizit). Darüber hinaus wird als Vorbereitung für die Messung der Transportdistanz beim Massenausgleich für jeweils zwei aufeinanderfolgende Stationslängen i und i+1 deren arithmetisches Mittel gebildet.

Über eine Display-Abfrage gesteuert kann der Planer die Ergebnisse der Erdmassenberechnung ausdrucken lassen. Der Output beinhaltet Spalten mit den Profilnummern, den Stationslängen, den Auf- und Abtragsvolumina, der Art der Verwendung, den gemittelten Stationslängen und Angaben zur Massendisposition. Für die Profile 1 - 13 stellen sich die Ergebnisse wie folgt dar:

MASSENBERECHNUNG *****

NR.	STAT.-LÄNGE (a)	ABTRAG (a^3)	AUFTRAG (a^3)	VERWENDUNG IN PROFIL (a^3)	ÜBERSCHUSS (a^3)	DEFIZIT (a^3)	MITTLERE STAT.- LÄNGE (a)	MASSEN- BISP.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.00							
2	10.00	1.98	.97	.97	1.00	0.00	5.00	0.00
3	20.00	1.98	6.46	1.98	0.00	4.48	15.00	-4.48
4	30.00	.37	6.20	.37	0.00	5.83	25.00	-10.32
5	32.61	.10	.30	.10	0.00	.21	31.30	-10.53
6	36.24	0.00	2.59	0.00	0.00	2.59	34.43	-13.11
7	39.87	0.00	6.30	0.00	0.00	6.30	38.05	-19.41
8	43.50	0.00	7.88	0.00	0.00	7.88	41.69	-27.29
9	47.13	.79	3.75	.79	0.00	2.96	45.31	-30.25
10	50.00	.86	.01	.01	.85	0.00	48.56	-29.40
11	60.00	1.55	1.95	1.55	0.00	.40	55.00	-29.80
12	61.18	.20	.22	.20	0.00	.03	60.59	-29.83
13	65.57	.44	2.02	.44	0.00	1.58	63.38	-31.40

Die zuletzt genannte Information dient, falls die entsprechende Display-Frage bejaht wird, als Grundlage für die Zeichnung eines Massenprofils (vgl. KUONEN, 1983).

Grundsätzlich werden zum Abschluß der Massenberechnung die neuen Informationen abgespeichert und ein Ausdruck mit der Bezeichnung "DATEI-MASSENBERECHNUNG" mit Dateinamen und Anzahl der Datensätze angelegt. Der Ausdruck dokumentiert zusätzlich die Summenwerte für

die Verwendung der Erdmassen innerhalb eines Profils und die Auf- und Abtragssummen insgesamt. Der nachfolgenden Zusammenstellung können die Informationen für das Testbeispiel entnommen werden.

=====

DATEI M A S S E N B E R E C H N U N G

IN DIE DATEI MASSE300 WURDEN 54 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

=====

=====

INFORMATIONEN ZUR ERDMASSENBERECHNUNG

VERWENDUNG INNERHALB DES PROFILS	41.08 M ³
AUFTRAGSSUMME	298.95 M ³
ABTRAGSSUMME	245.97 M ³

=====

Die Rückkehr ins Startmenue erfolgt automatisch.

5.8.2 Der Erdmassenausgleich

Erste Hinweise, ob und ggf. wie weit Erdmassenausgleich (Code 2) gegeben ist, können aus den Auf- und Abtragssummen gewonnen werden. Um allerdings nähere Informationen zu bekommen, in welchen Bereichen Massenausgleich erwartet werden kann oder wo mit Seitenentnahme oder laufender Deponie zu rechnen ist, griffen wir, wie bereits in Kapitel 4.1.6 angedeutet, auf Teile eines speziellen Ansatzes der linearen Optimierung zur Lösung von sog. Transportproblemen zurück. Wir beschränkten uns darauf, eine Ausgangs-

matrix zu initiieren, wobei wir im Anhalt an ABELI (1984) die Kosten durch die Transportdistanzen substituierten.

Zur Festlegung der Matrix werden zunächst zwei neue Dateien festgelegt. Die erste beinhaltet alle Profilabschnitte (= Strecken zwischen zwei Stationspunkten) mit Massenüberschuß. Für die weitere Behandlung werden diese Bereiche mit MU abgekürzt. In der zweiten Datei werden die Abschnitte mit Massendefizit (MD) abgelegt. Die Parameter Dateinamen und Anzahl der Datensätze werden in der üblichen Form dokumentiert.

=====

DATEI M A S S E N Ü B E R S C H U S S

IN DIE DATEI OBER300 WURDEN 34 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

=====

=====

DATEI M A S S E N D E F I Z I T

IN DIE DATEI DEF300 WURDEN 20 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

=====

Als weitere Variable wird in beiden Dateien die gemittelte Stationslänge der jeweiligen Profilabschnitte aufgenommen.

Auf der Basis der beiden Dateien kann eine Ausgangsmatrix, wie sie in Tabelle 24 anhand der Daten aus der manuellen Projektierung in vereinfachter Form dokumentiert ist, angelegt werden.

Tab. 24: Ausgangsmatrix des Transportproblems für die Beurteilung des Erdmassenausgleichs

MD MU	1`	2`	3`	4`	5`	Deponie	MU
1	19,3 11,98	9,3 3,76	27,3 5,69	34,3	39,3	0	21,43
2	29,3	19,3	17,3 6,80	24,3 2,68	29,3 7,08	0	15,56
3	36,5	26,5	10,1	17,1	22,1 4,97	0	4,97
4	96,2	86,2	49,6	42,6	37,6 2,06	0	2,06
Seiten- entnahme	0	0	0	0	0 3,21		
MD	11,98	3,76	12,49	2,49	17,32		

Legende:

TD	
M	

TD: Transportdistanz

M: transportierte Masse

Die Transportentfernungen repräsentieren die Absolutwerte aus der Differenz der Stationslängen bei MD1` und MU1, MD2` und MU1 bis MD5` und MU4. Die Transportmassen werden solange zugeordnet, bis eine vorzugebende Grenzdistanz (z.B. 80 m) überstiegen wird. Um die Massenbilanz auszugleichen, wird Massenüberschuß für den Fall, daß in MD nicht genügend Massendefizit auftritt, in die Spalte Deponie eingetragen. Analog dazu wird eine Zeile mit Seitenentnahme angelegt. Der Einfachheit halber wird in beiden Fällen mit einer Transportdistanz = 0 m operiert. Kein Eintrag bedeutet, daß kein Transportvorgang stattfindet.

Der Algorithmus endet mit der Berechnung der durchschnittlichen Transportdistanz $\overline{TD}$ für die nicht innerhalb der Profile verwendeten Erdmassen nach der Formel

$$\overline{TD} = (MU1 \times TD1^{\wedge} + MU1 \times TD2^{\wedge} + \dots + MUn \times TDn^{\wedge}) / \Sigma MD \quad (33)$$

für n = letztes Profil mit Massenüberschuß

für n^ = letztes Profil mit Massendefizit

Ein Ausdruck der gesamten Matrix läßt sich bei längeren Straßenabschnitten, wie beispielsweise im Projekt "Hollmaier Leite" mit 200 Stationspunkten, nicht mehr realisieren. Um trotzdem dem Planer die Ergebnisse als Entscheidungshilfe an die Hand geben zu können, werden ausschließlich die Profilabschnitte, bei denen ein Massenüberschuß (= Deponie) verbleibt (MU bei Transportentfernung 0 m) und jene Abschnitte, die ein Defizit (= Seitenentnahme) aufweisen, ausgedruckt. Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie die Informationen dem Planer zur Verfügung gestellt werden.

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

SEITENENTNAHME .19 M^3

STATIONS LÄNGE 34.425 M

=====

Anhand dieser Zahlen und der zuvor ausgedruckten Auf- und Abtragssummen kann sich der Anwender für oder gegen eine Linienführung aussprechen. Falls erforderlich, kann über das Hauptmenue, das nach dieser Berechnung generiert wird, in die Planungsroutinen zurückgegangen werden.

5.9 PROGRAMM "WEGSTART" - LEISTUNGSVERZEICHNIS

Die Detailprojektierung wird mit der Erstellung des Leistungsverzeichnisses, das entweder als Grundlage für den Kostenplan bei Regiearbeit oder als Basis für die Ausschreibung des Bauvorhabens dient, abgeschlossen. Ebenso wie beim klassischen Vorgehen stellte sich bei der EDV-gestützten Projektierung zunächst die Frage, welches Muster für Leistungsverzeichnis und Kostenvoranschlag herangezogen werden soll. Darüberhinaus mußte im Zusammenhang mit der EDV-Anwendung ein geeigneter Weg gefunden werden, um das Leistungsverzeichnis und ggf. eine Kostenkalkulation im direkten Dialog mit dem Bildschirm erstellen und in entsprechender Form ausdrucken zu können.

Als Muster für das Leistungsverzeichnis wurde wiederum das Formblatt Nr. 6 (vgl. Abschnitt 3) gewählt. Wie der Ausdruck auf der nachfolgenden Seite zeigt, wurde das ursprüngliche Schema nur geringfügig verändert.

Um in die Leerzeilen die dazugehörigen Eintragungen vornehmen zu können, bieten sich dem Planer folgende Optionen:

LEISTUNGSVERZEICHNIS	1
KOSTENVORANSCHLAG	2
ENDE	3

In beiden Fällen werden Informationen zu den in der Grundtabelle aufgelisteten Punkten 1-14 im Display abgefragt. Die nachfolgende Übersicht (Seite 230-232) verdeutlicht, welche Kennziffern für das Leistungsverzeichnis und welche für die Kostenkalkulation benötigt werden.

LEISTUNGSVERZEICHNIS UND KOSTENVORANSCHLAG
 =====
 (KOSTEN OHNE MWST)

PROJEKT: _____
 =====

1) STOCKRODUNG ZUR VORBEREITUNG DER TRASSE:	_____	STOCK ZU	_____	DM	_____	DM	
2) HERSTELLEN DER ROHPLANIE:	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM	
3) SPRENGEN VOM FELS:	_____	CBM ZU	_____	DM	_____	DM	
4) VERLEGEN LASTENVERTEILENDER UNTERLAGEN:	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM	
5) LIEFERN, LADEN, TRANSPORT UND EINBAU DES TRAGSCHICHTMATERIALS:	_____	CBM ZU	_____	DM	_____	DM	
6) PROFILIEREN UND VERDICHTEN DER TRAGSCHICHT:	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM	
7) AUFBRINGEN EINER VERSCHLEISSDECKE:	_____	CBM ZU	_____	DM	_____	DM	
8) ENTWÄSSERUNG (EINBAU VON ROHRDURCHLÄSSEN BIS IM LICHTER WEITE EINSCHL. ANKAUF UND ANFUHR DER ROHRE):							
D _____ CM _____	STOCK=	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM
D _____ CM _____	STOCK=	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM
D _____ CM _____	STOCK=	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM
D _____ CM _____	STOCK=	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM
D _____ CM _____	STOCK=	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM
9) HERSTELLEN VON SEITENGÄBEN:	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM	
10) KUNSTBAUTEN (BROCKEN, DURCHLÄSSE OBER 100 CM, STÜTZMAUERN):							
_____	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM	
_____	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM	
_____	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM	
11) BESCHÜSSBEGRUNGEN:	_____	QM ZU	_____	DM	_____	DM	
12) KOSTEN FÜR DIE PROJEKTIERUNG:	_____	LFM ZU	_____	DM	_____	DM	
13) WEGSTRECKENENTSCHÄDIGUNG FÜR BAUAUFSICHT:	_____	KM ZU	_____	DM	_____	DM	
14) SONSTIGE UND UNVORHERGEBEHENE KOSTEN:	_____	_____	_____	DM	_____	DM	
=====							

KOSTEN JE LFM _____ DM/LFM SUMMA BAUKOSTEN OHNE MWST. _____ DM

Abfrage im Display	Ablauf	Vorgaben für Leistungs- verzeichniss	Abfrage im Display	zusätzliche Vorgaben für Kostenkalkulation
1. Stockrodung zur Vor- bereitung der Trasse?	ja nein	Stückzahl?	DM/Stück? (→ Berechnung DM insg.)	
2. Herstellen der Roh- planie?	ja nein	lfm Weg?	a) DM/lfm? (→ Berechnung DM insg.) oder b) Erdmassenabtrag (m^3)? Maschinenleistung /Std (m^3)? Kosten/Std. (DM)? Verdichten, Leistung/Std. (m^3)? Kosten/Std. (DM)? Straßenbreite (m)? (→ Berechnung DM/lfm u. DM insg.)	
3. Sprengen von Fels?	ja nein	m^3 ?	DM/ m^3 ? (→ Berechnung DM insg.)	
4. Verlegen lastenver- teiler Unterlagern?	ja nein	lfm?	DM/lfm? (→ Berechnung DM insg.)	
5. Liefern, Laden, Trans- port und Einbau des Tragschichtmaterials?	ja nein	a) m^3 ? oder b) Straßenbreite (m)? Tragschichtdicke (unverdichtet) (m)? lfm Weg? (→ Berechnung m^3)	a) DM/ m^3 ? oder b) Transportkosten (DM/t)? Umrechnungsfaktor in DM/ m^3 ? Materialkosten (DM/ m^3)? Kosten für Laden (DM/ m^3)? Kosten für Einbau (DM/ m^3)? (→ Berechnung DM/ m^3 u. DM insg.)	

Abfrage im Display	Ablauf	Vorgaben für Leistungs- verzeichniss	Abfrage im Display	zusätzliche Vorgaben für Kostenkalkulation
6. Profilieren und Verdichten der Tragschicht?	ja nein	lfm Weg?	a) DM/lfm? (→ Berechnung DM/insg.) oder b) Grader, Leistung/Std (lfm)? Kosten/Std (DM)? Walze, Leistung/Std (m²)? Kosten/Std (DM)? Straßenbreite (m)? (→ Berechnung DM/lfm u. DM insg.)	
7. Aufbringen einer Verschießdecke?	ja nein	a) m²? oder b) Straßenbreite (m)? Schichtdicke (cm)? lfm Weg? (→ Berechnung m²)	a) DM/m²? (→ Berechnung DM insg.) oder b) Transportkosten (DM/t)? Umrechnungsfaktor im DM/m²? Materialkosten incl. Laden + Einbau (DM/m²)? Verdichten, Leistung/Std (m²)? Kosten/Std (DM)? Straßenbreite (m)? (→ Berechnung DM/lfm u. DM insg.)	
8. Entwässerung?	ja nein	Durchmesser 1-5? lfd. Meter 1-5?	a) DM/lfm 1-5 incl. Einbau? (→ Berechnung DM insg.) oder b) Materialkosten 1-5 (DM/lfm)? Bagger, Leistung/Std. (lfm)? Kosten/Std. (DM)? (→ Berechnung DM insg.)	

Abfrage im Display	Ablauf	Vorgaben für Leistungs- verzeichniss	Abfrage im Display	zusätzliche Vorgaben für Kostenkalkulation
9. Herstellen von Seil- tengraben?		lfm?	DM/lfm? (→ Berechnung DM insg.)	
10. Kunstbauten?		lfm 1-3?	DM/lfm 1-3? (→ Berechnung DM insg.)	
11. Böschungsbegrünung?		m²?	DM/m²? (→ Berechnung DM insg.)	
12. Kosten für Pro- jektierung?		lfm?	DM/lfm? (→ Berechnung DM insg.)	
13. Wegstreckenent- schädigung?		km?	DM/km? (→ Berechnung DM insg.)	
14. Sonstige Kosten?			DM?	

Hierzu muß hervorgehoben werden, daß insbesondere bei der Kostenkalkulation sowohl pauschale Kostensätze vorgegeben als auch die anfallenden Kosten im Detail hergeleitet werden können.

Abschließend wird dem Anwender die Möglichkeit gegeben, das Leistungsverzeichnis (incl. Kostenvoranschlag) mit den zuvor eingegebenen oder ermittelten Werten auszudrucken.

6 DER PROGRAMMTTEST

6.1 MÖGLICHKEITEN DER PROGRAMMANWENDUNG

In Kapitel 5 wurde mit dem Programmsystem "WEGSTART" ein Programmpaket für die EDV-gestützte Wegeprojektierung vorgestellt, das es von der Methode her erlaubt, den gesamten Planungsablauf von der Planung der Nulllinie bis hin zur Erstellung des Kostenvoranschlags mit Hilfe der Datenverarbeitung durchzuführen. Voraussetzung für die Anwendung dieser Programmversion ist eine möglichst umfangreiche Gelände- und Planungsdatenbank. Mit den darin gespeicherten Informationen und Daten soll das zu erschließende Gebiet oder Teilgebiet für Planungszwecke entweder mit Hilfe des Plotters oder des Bildschirms dargestellt werden. Geländearbeiten sollen im Rahmen des Planungsprozesses wegfallen.

Wie bereits in Verbindung mit dem Demonstrationsbeispiel in Abschnitt 5 angedeutet, treten für das Projekt "Hollmaier Leite" beim computergestützten Übergang von der horizontalen in die vertikale Planungsebene auf der Basis der verfügbaren topographischen Karten erhebliche Abweichungen vom tatsächlichen Geländeverlauf auf. Diese waren im Rahmen einer Detailprojektierung nicht zu akzeptieren.

Zu der Frage, ob, falls vorhanden, ersatzweise Satellitenaufnahmen herangezogen werden könnten, erklärten zwei sich damit befassende Institutionen (ESRI, Gesellschaft für Systemforschung und Umweltplanung, Kranzberg; DFVLR, Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V., Oberpfaffenhofen), daß derzeit für den zivilen Bereich lediglich Aufnahmen mit einer maximalen Auflösung von 10x10m zur Verfügung stehen. Das reiche nach den bisherigen Erfahrungen für den Aufbau von Geländemodellen, wie sie für die Projektausarbeitung benötigt werden, nicht aus. Aufgrund dieser Aussagen mußten Überlegungen angestellt

werden, wie, ausgehend von verschiedenen Planungssituationen, das Programmsystem "WEGSTART" zu ändern war, um trotzdem den Computer einsetzen zu können. Vorrangig waren dabei die Fragen zu behandeln, wie, anstatt über topographische Karten, Informationen über die Geländeausformung im Bereich des zukünftigen Weges mit vertretbarem Aufwand gewonnen und weiterverarbeitet werden können.

Entscheidend dafür ist die jeweilige Ausgangssituation. Neben der eingangs erwähnten Möglichkeit, die gesamte Planung mit Hilfe des Computers zu realisieren, sind bei einer Kombination aus mehr oder weniger aufwendigen Geländeaufnahmen und Computereinsatz die nachfolgend genannten Situationen vorstellbar:

1. Aus Feldarbeiten ist lediglich der Erschließungskorridor bekannt. Die Planung der Nulllinie und die Detailprojektierung stehen noch aus.
2. Die Nulllinie wurde im Gelände festgelegt und verpflockt. Die EDV-Anwendung soll mit der Planung der Wegeachse beginnen.
3. Aus den Feldaufnahmen zu einer klassischen Projektierung stehen die hektometrierte Wegeachse, das Nivellement und die Querprofildatei zu jedem Stationspunkt zur Verfügung. Als rechnergestützte Planungsschritte verbleiben das Zeichnen des Geländelängsprofils, die Festlegung der Gradienten, der Aufbau der Querprofildatei, die Erdmassenberechnung (einschließlich Massenausgleich) und die Erstellung eines Leistungsverzeichnisses.

Nachfolgend wird zunächst dargestellt, weshalb die ursprüngliche Programmversion "WEGSTART" auf das Projekt "Hollmaier Leite" nicht angewandt werden konnte. Da das Scheitern der Programmanwendung ausschließlich auf die Mängel in den kartographischen Informationen zur Topographie zurückzuführen ist, genügt es, den entscheidenden Planungsschritt mit dem Übergang von der horizon-

talen in die vertikale Planungsebene näher zu erörtern. Wir bezeichnen dieses Vorgehen als die Auswahl des "optimalen Geländemodells", d.h. des Modells, das letztlich die beste Annäherung an das aus dem Nivellement stammende Geländelängsprofil liefern sollte.

Anschließend werden, ausgehend von den Planungssituationen 1 - 3, Möglichkeiten für die Modifikationen des Programmpakets für die EDV-gestützte Wegeprojektierung diskutiert. Als Schwerpunkt sind im Rahmen dieser Alternativlösungen die Fragen zu klären, in welcher Form Informationen zum Gelände möglichst rasch beschafft und wie diese nach Eingabe in den Computer derart weiterverarbeitet werden können, daß sie sich, ohne daß allzu umfangreiche Änderungen erforderlich werden, in das bereits vorhandene Programmsystem übernehmen lassen. Der ggf. erforderliche Einbau neuer Programmbausteine bereitet aufgrund der modularen Struktur des Programmsystems keine Probleme. Soweit es das Datenmaterial aus dem Projekt "Hollmaier Leite" zuläßt, werden darüber hinaus die neugestalteten Programmversionen getestet und die Ergebnisse jenen aus der klassischen Projektierung gegenübergestellt. Zum Abschluß werden die Erfahrungen aus der Programmanwendung zusammengefaßt und darauf aufbauend Empfehlungen für die zukünftige Anwendung in der Praxis ausgearbeitet.

6.2 AUSWAHL DES "OPTIMALEN GELÄNDEMODELLS"

Wie bereits beschrieben, ermöglichen die Manipulationsroutinen innerhalb der Datenbank den Aufbau von Geländemodellen mit unterschiedlichen Rasterelementweiten. Für die vorliegende Planungssituation konnte mit vertretbarem Aufwand bis zu einem minimalen Rasterabstand von 6 Meter zurückgegangen werden, das entspricht bei 10000 Rasterpunkten auf einer Fläche von 36 ha etwa 278 Pkt/ha. Um allerdings die gesamte Wegestrecke von 1670 m mit dem Geländemodell erfassen zu können, mußten auf Grund der Restriktion, den Abschnitt zwischen den Grenzpunkten x und x_1 nur in 100 Ra-

sterlinien unterteilen zu können, 2 Modelle generiert werden. Aus der Abb. 64 gehen die für den Aufbau der 3-D-Modelle erfaßten Geländeausschnitte hervor. Für die Auswahl des unter den gegebenen Grenzbedingungen optimalen Modells wurden die in Tabelle 25 zusammengestellten Varianten (V1-V6) getestet.

Tabelle 25: Testvarianten für die Auswahl des "optimalen" 3-D-Modells

Test- variante	Raster- elementweite (m)	Geländehöhen aus		Anzahl Rasterpunkte (auf 36 ha)
		Topographischer Karte	Luft- bild	
1	2	3	4	5
V 1	20	X		900
V 2	20		X	900
V 3	10	X		3600
V 4	10		X	3600
V 5	6	X		10000
V 6	6		X	10000

Für den Probelauf beschränkten wir uns darauf, für den in den schwierigen Geländepartien liegenden Wegeabschnitt (= Modell 2 für den Abschnitt von Station 570 bis Station 1600) die verschiedenen Geländelängsprofile zu gewinnen.

Um die Vergleichbarkeit mit der klassischen Projektierung zu gewährleisten, wurde das im Gelände aufgenommene Tangentenpolygon (mit Streichwinkel und Abständen zwischen den Tangentenschnittpunkten) vorgegeben. Für die Ausrundung der Bögen wurden ebenfalls die Kurvenradien aus der klassischen Planung übernommen. Lediglich die anschließende computergestützte Hektometrierung

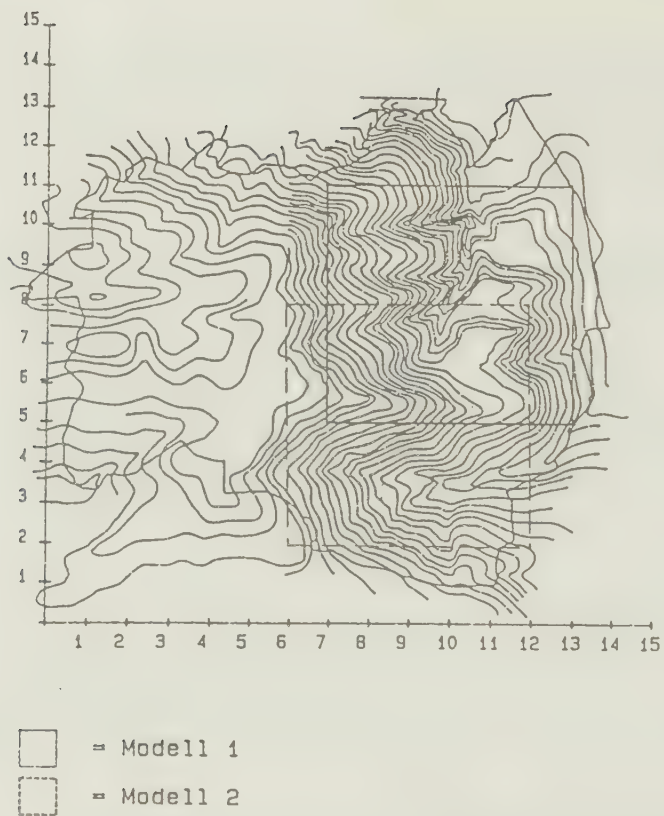


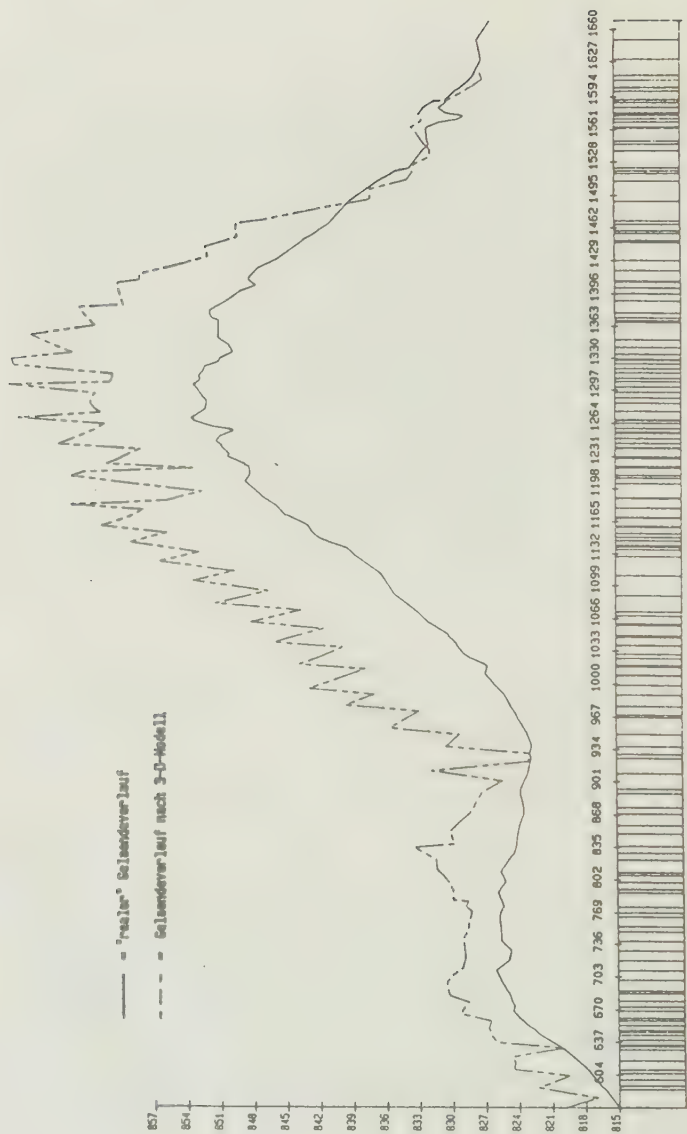
Abb. 64: Abgrenzung der Gelaendemodelle

führte im Vergleich zum klassischen Vorgehen auf Grund der systematischen Festlegung der Stationspunkte (auf den Geraden in 10 m - Abständen, in den Kurven BA, BM, BE und Bogenviertelspunkte) zu geringfügigen Abweichungen in den Stationslängen. Während der Feldarbeiten wurde beispielsweise in einfachen Geländepartien darauf verzichtet, Bogenviertelspunkte einzumessen.

Für die Modellvarianten V1-V6 wurden mit Hilfe der in Kapitel 5.5.1 beschriebenen Methode die Geländehöhen der Stationspunkte berechnet, sodann die Geländelängsprofile gezeichnet und diese dem direkt terrestrisch erhobenen Profil (= "realer" Geländeverlauf) gegenübergestellt. Die Abb. 65 - 70 verdeutlichen, daß zwar alle Varianten den Geländeverlauf in der Tendenz widerspiegeln, die aus der topographischen Karte und dem Luftbild abgeleiteten absoluten Geländehöhen jedoch erheblich von den "wahren" Werten abweichen. Die maximalen Abweichungen erreichen selbst mit der Rasterelementweite von 6 m bei V5 bis zu 18 m und bei V6 bis zu 10 m.

Diese enormen Abweichungen sind ausschließlich auf Ungenauigkeiten in den Ausgangsdaten zurückzuführen. Der Hinweis des Landesvermessungsamtes München, daß Höhenflurkarten (1 : 5000), die aus der Zeit vor 1900 stammen, mit erheblichen absoluten Fehlern behaftet sind, wurde dadurch eindringlich bestätigt.

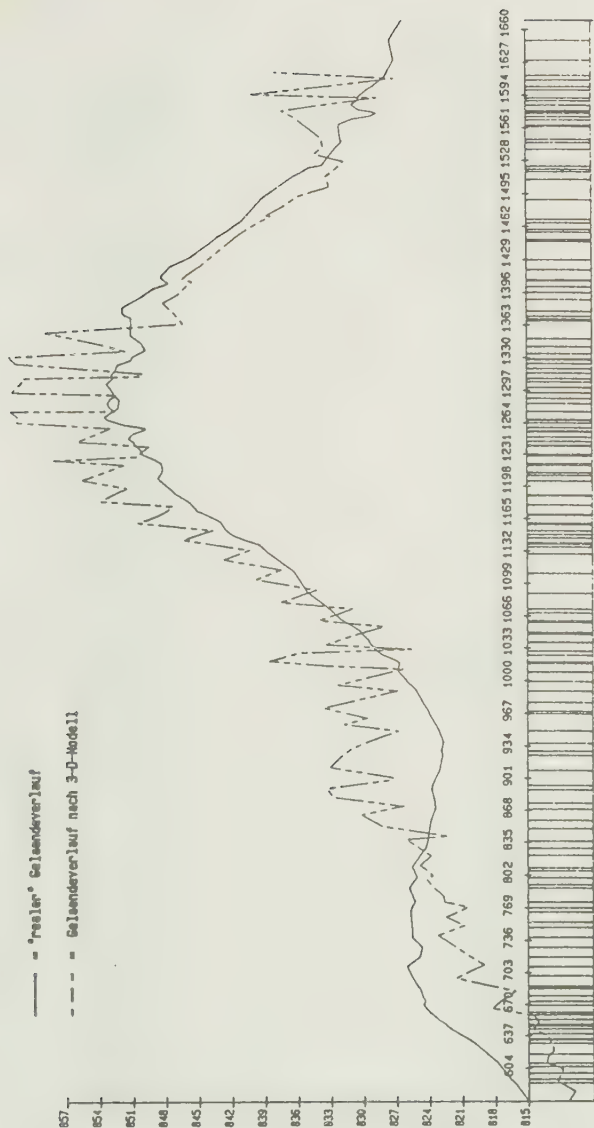
Nicht erwartet wurden dagegen die in diesem Ausmaß auftretenden Unzulänglichkeiten bei dem auf dem Luftbild basierenden Schichtlinienplan. Trotz einer fachkundigen stereogrammetrischen Auswertung gelang es nicht, den Geländeverlauf auf der Bodenoberfläche den tatsächlichen Geländeverhältnissen anzunähern. Im Gegensatz zum Längsprofil aus der topographischen Karte, das im Vergleich zum "realen" Gelände eine systematische Abweichung nach oben erkennen läßt, treten beim Längsprofil aus der Luftbildkarte nur zufällige Abweichungen auf. Das bekannte Problem, daß sich in dicht bestockten Beständen mit mangelnder Durchsicht auf die Erdoberfläche und ggf. einem zusätzlich kleinräumig stark wechselnden



PLAN: LAENGENPROFIL HÖLLMAIER LEITE

HÖHEN 1: 300
 LÄNGEN 1: 3300

Abb. 65: Testvariante V1



PLAN: LAENGENPROFIL HOLLMAIER LEITE

HOEHEN 1: 300
LAENGEN 1: 3300

Abb. 66: Testvariante V2

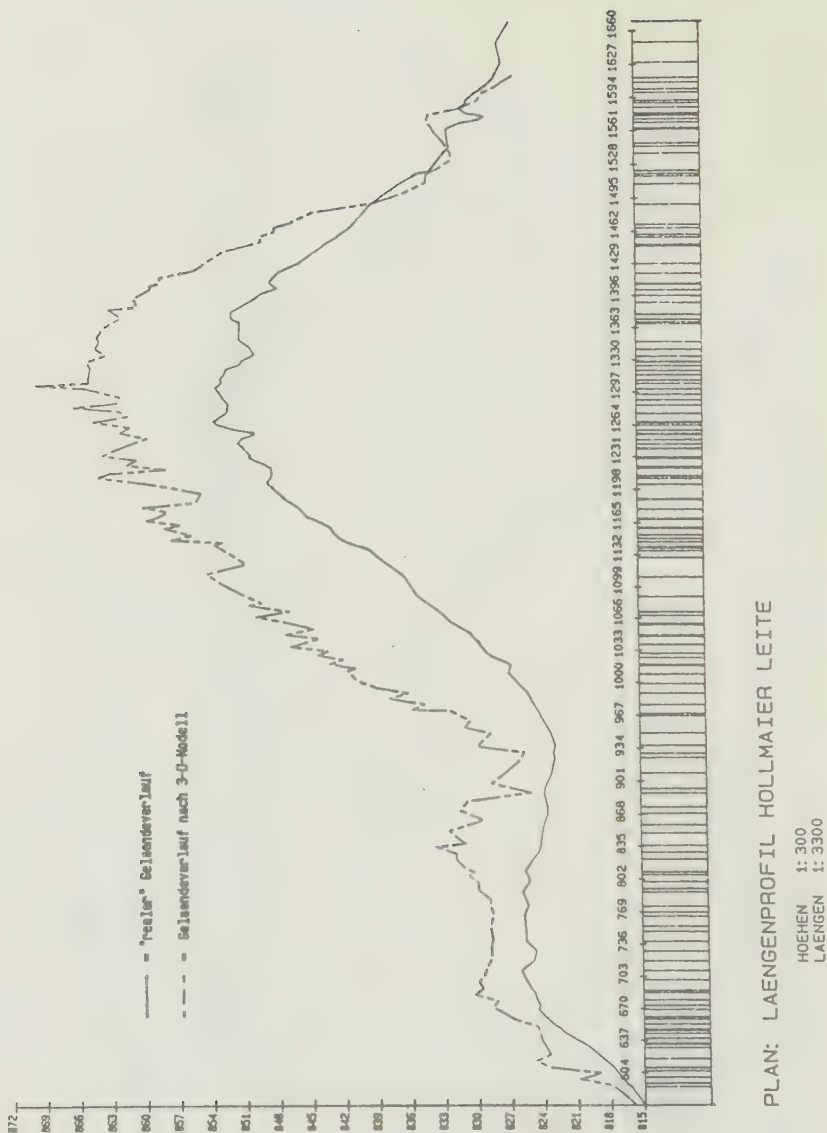
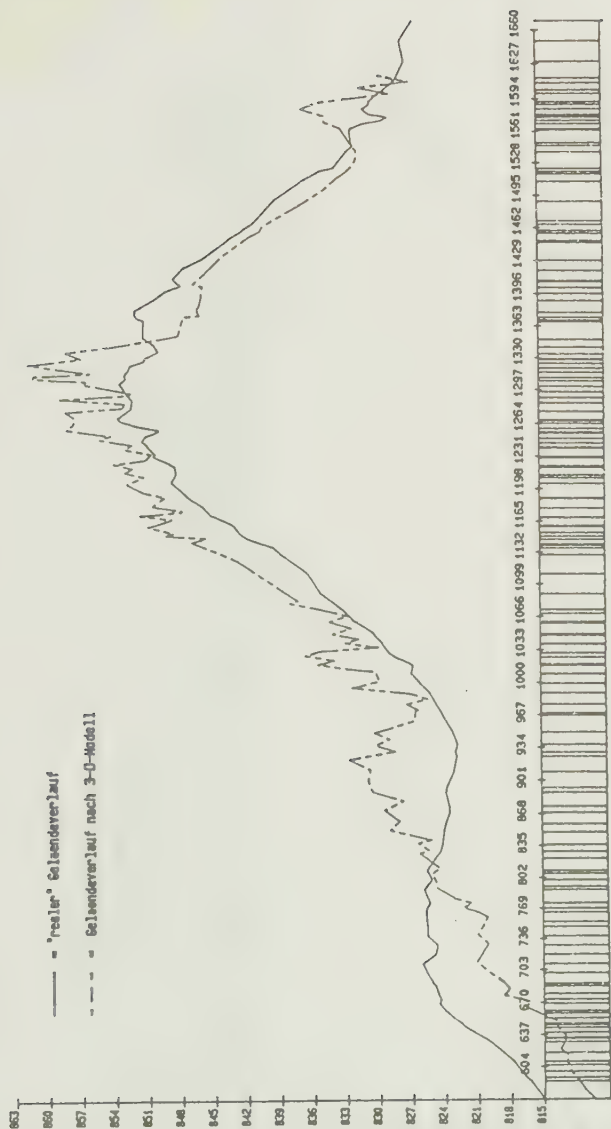


Abb. 67: Testvariante V3



PLAN: LAENGENPROFIL HOLLMAIER LEITE

HOEHEN 1: 300
 LÄNGEN 1: 3300

Abb. 68: Testvariante V4

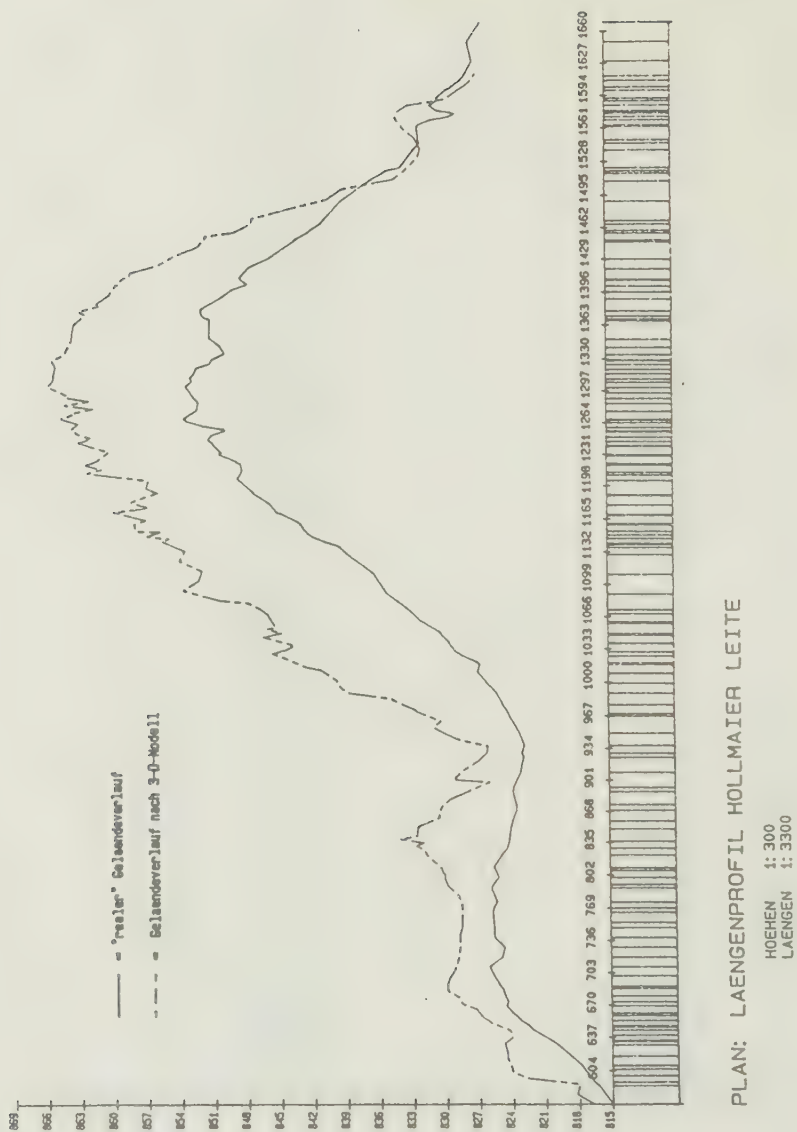


Abb. 69: Testvariante V5



PLAN: LAENGENPROFIL HOLLMAIER LEITE

HOEHEN 1: 300
 LAENGEN 1: 3300

Abb. 70: Testvariante V6

Relief das Gelände anhand des Luftbildes nur mit erheblichen Fehlern reproduzieren läßt (HUSS, 1984), wurde auch für das Untersuchungsgebiet offensichtlich.

Hervorstechend sind die Abweichungen vom tatsächlichen Geländeverlauf bei schmalen, tiefen Geländeeinschnitten. Sowohl das Längsprofil aus der topographischen Karte als auch aus dem Luftbild verläuft über Gräben gegenläufig, d.h. statt eines Gefälles tritt eine Steigung auf (vgl. Abb. 65 - 70, zwischen den Stationen 1560 und 1590). Die Schichtlinien spiegeln die Reliefunterschiede nur bedingt wider.

In Abb. 71 ist schematisch skizziert, was passiert, wenn das Tangentenpolygon in die topographische Karte übertragen wird. Im Fall 1 weisen die Tangenten von Punkt 2 nach Punkt 3 ein Gefälle und von 3 nach 4 eine Steigung auf. In Fall 2 wandelt sich das Bild auf Grund der zu geringen Ausprägung des Grabens in der topographischen Karte. Von Punkt 2 nach 3 steigt und von 3 nach 4 fällt das Tangentenpolygon. Die Konsequenz ist der anfangs beschriebene gegenläufige Verlauf des Geländelängenprofils.

Über die in der Ungenauigkeit von topographischer Karte und Luftbild begründeten Fehlern hinaus wird durch die Differenzierung in verschiedene Rasterelementweiten eine Schwäche des Modellansatzes aufgedeckt. Mit zunehmender Rasterelementweite nimmt die Unstetigkeit des Höhenverlaufs gegenüber dem "wahren" Geländeprofil ein nicht mehr tolerierbares Ausmaß an. Diese Auswirkung ist auf die lineare Interpolation in Verbindung mit der Rechteckvermaschung zurückzuführen.

Die Eingangsgrößen für die Interpolationsroutine sind die Höhen ($Z_1 - Z_4$) der Eckpunkte der einzelnen Rasterelemente. Je größer der Abstand zwischen den Rasterlinien ist, desto größer sind i.d.R. auch die Höhenunterschiede zwischen den Rastereckpunkten zwischen zwei aufeinanderfolgenden Rasterelementen. Da diese Werte die Geländehöhen jedes beliebigen Punktes innerhalb eines

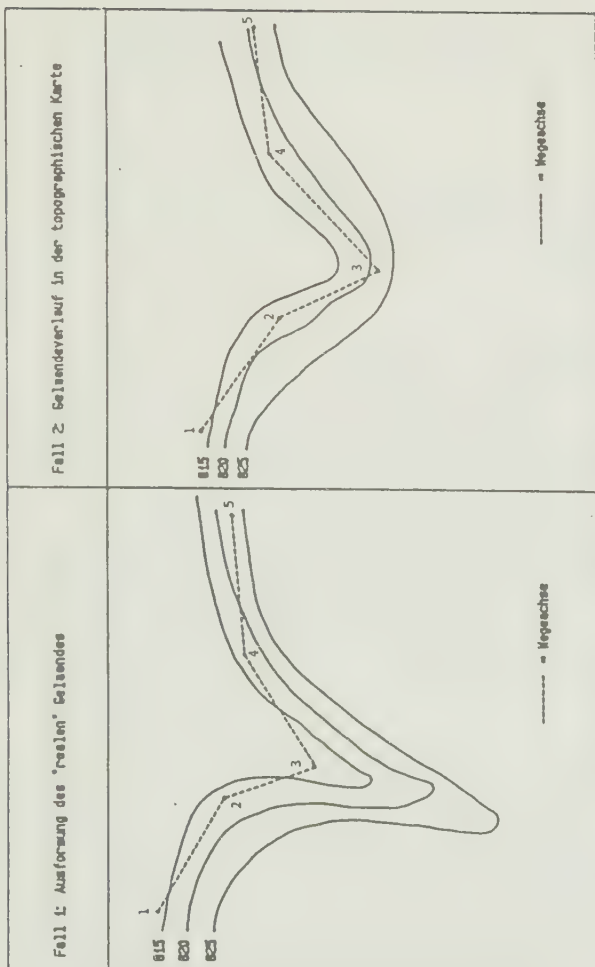


Abb. 71: Abweichung zwischen "realen" Gelände und Geländeverlauf auf der topographischen Karte

Rasterelementes bestimmen, markieren die Geländesprünge zwischen den Stationspunkten die Übergänge der Wegeachse von Rasterfeld zu Rasterfeld.

Auf Grund dieser negativen Wirkung bei großen Rasterelementweiten sollte, falls mit topographischen Karten gearbeitet werden kann, der Abstand der Rasterlinien für die computergestützte Projekt- ausarbeitung 6 m nicht übersteigen, sondern, falls möglich, noch weiter reduziert werden.

6.3 MODIFIKATIONEN INNERHALB DES PROGRAMMSYSTEMS "WEGSTART"

Wie zu Beginn dieses Kapitels dargelegt, muß für den Fall, daß die Genauigkeit der kartographischen Informationen zur Topographie nicht den Anforderungen einer Detailprojektierung genügt, die ursprüngliche Konzeption, die Wegeplanung ausschließlich mit Hilfe von Bildschirm, Digitizer und Plotter durchzuführen, aufgegeben werden. Um Informationen über das Gelände und ggf. über den Verlauf einer Erschließungslinie zu bekommen, sind, abhängig von der jeweiligen Ausgangssituation, im Rahmen des Planungsprozesses Feldarbeiten unterschiedlicher Intensität erforderlich.

Generell kann festgehalten werden, daß es in Verbindung mit Wegebaumaßnahmen genügt, die Aufnahme von Geländedaten auf die nähere Umgebung der zukünftigen Erschließungslinien zu konzentrieren. Entsprechend der Planungssituation können das zum einen, unabhängig von einer bestimmten Linienführung, Erschließungskorridore sein. Zum anderen bietet sich die Möglichkeit, wie PESTAL (1975) es in seiner "Projektierung mittels Nullebene und Freihandpolygon" vorschlägt, das Gelände links und rechts von einer gemessenen und verpflochten Nulllinie zu erfassen. In beiden Fällen empfiehlt es sich, in regelmäßigen Abständen, die von der jeweiligen Geländeausformung abhängen, über eine Breite von 50 - 100 m Geländequerprofile aufzunehmen. Schließlich kann, wie bislang

bei der klassischen Projektierung praktiziert, die Querprofilaufnahme an den Stationspunkten einer direkt im Gelände geplanten Wegeachse erfolgen. Als Breite des zu erfassenden Geländestreifens genügen in dieser Situation jeweils 15 m links und rechts der Wegeachse.

Da für die zuletzt genannte Ausgangssituation (Situation 3) die Geländehöhen der Stationspunkte (aus dem Nivellement) und der Querprofilpunkte (aus den Aufnahmen der Geländequerprofile) bekannt sind, reicht es aus, die im Gelände aufgenommenen Daten den entsprechenden Computerprogrammen zugänglich zu machen. Zu diesem Zweck sind in das vorhandene Programmsystem "WEGSTART" einfache Zusatzprogramme einzufügen, die es erlauben, die Geländedaten in den Computer einzugeben und so umzuformen, daß sie in die Routinen für die Festlegung der Gradienten und die Erdmassenberechnung übernommen werden können.

Erheblich mehr Aufwand verlangen die Modifikationen des Programmsystems "WEGSTART", falls von den Planungssituationen 1 und 2 ausgegangen wird. Als zentrales Problem bleibt in beiden Fällen die Frage, wie der Übergang von der horizontalen in die vertikale Planungsebene auf der Basis von Geländedaten bewerkstelligt werden kann.

Etwas vereinfachen läßt sich das Problem aufgrund folgender Überlegungen: Um die Datenaufnahme innerhalb eines definierten Geländestreifens zu beschleunigen, ist es zweckmäßig, von einer bereits vorliegenden, möglichst zentral angesiedelten Achse, sei es, wie bereits geschildert, von der Wegeachse oder sei es von der Nulllinie, aus zu messen. Falls nur der Erschließungskorridor festliegt, muß zunächst diese Achse bestimmt werden. Es empfiehlt sich, verstärkt durch die Forderung, bei unzureichenden Informationen zur Topographie die Nulllinie in jedem Fall direkt im Gelände zu messen, vor der Erfassung der Geländedaten die Nulllinie innerhalb des Korridors zu planen. Die Planungssituationen 1 und 2 können dann im weiteren Vorgehen zusammengefaßt behan-

delt werden. Da die Nulllinie nicht ständig in der Mitte eines Korridors verläuft, die Querprofilbreiten aber nach links und rechts identisch sein sollen, sind ggf. Verschiebungen der Grenzen des Erschließungskorridors zu akzeptieren.

Nachfolgend wird zunächst eine Subroutine vorgestellt, mit deren Hilfe der computergestützte Übergang von der horizontalen in die vertikale Planungsebene anstatt über ein Geländemodell auf der Basis von im Gelände erfaßten Daten bewerkstelligt werden kann (Situation 1 und 2). Mit dem Einbau dieses Unterprogrammes in das Programmsystem "WEGSTART" soll die Möglichkeit geschaffen werden, auch ohne hinreichend genaue kartographische Unterlagen zur Topographie die gesamte Detailprojektierung computergestützt durchzuführen. Ein Testlauf auf der Basis der vorgesehenen Querprofildaten zur Nulllinie ließ sich wegen des hierfür fehlenden Datenmaterials nicht realisieren. Ersatzweise wurde das Programm daher, wie noch zu zeigen sein wird, mit Hilfe der Querprofildaten zu den Stationspunkten, die aus der klassischen Projektierung stammen, erprobt. Daraus ergaben sich zumindest Hinweise, mit welcher Genauigkeit das Programm arbeitet.

Die weiteren Ausführungen beinhalten Einzelheiten zur Neugestaltung des Programmpakets, mit dessen Hilfe in erster Linie die Teilschritte der "Projektausarbeitung im Büro" computergestützt bewerkstelligt werden sollen (Situation 3). Da für das Projekt "HOLLMAYER LEITE" die Geländedaten aus der klassischen Projektierung vorliegen, können in diesem Fall die Ergebnisse aus der Programmanwendung jenen aus dem klassischen Vorgehen vorbehaltlos gegenübergestellt werden.

6.3.1 Ermittlung der Geländehöhen aus "Querprofildaten"

Um den Einbau in das Programmsystem "WEGEPROJEKTIERUNG" zu ermöglichen, war bei der Neugestaltung dieser Subroutine darauf zu achten, daß zum einen als Eingangsgröße Informationen aus der Statio-

nierungsliste übernommen werden müssen und zum anderen die Querprofildatei so aufzubauen ist, daß die Erdmassenberechnung direkt anschließen kann. Über diese Rahmenbedingungen hinaus waren die folgenden Fragen zu beantworten:

1. In welcher Form sind die Geländedaten aufzunehmen und mit Hilfe des Rechners weiterzuverarbeiten?
2. Nach welchem Algorithmus lassen sich darauf aufbauend die Geländehöhen der Stationspunkte und der dazugehörigen Querprofile berechnen?

6.3.1.1 Erfassung und rechnergestützte Verarbeitung der Geländedaten

Wie bereits angedeutet, genügt es im Rahmen von Erschließungsmaßnahmen, das Gelände im Bereich des zukünftigen Weges (z.B. innerhalb der Erschließungskorridore) zu erfassen. Es empfiehlt sich, nach der Festlegung der Nulllinie im Gelände von den markierten Nulllinienpunkten aus nach links und rechts Querprofile zu messen. Die Gesamtbreite sollte dabei, um für die nachfolgende Planung der Wegeachse und die Erdmassenberechnung genügend Spielraum zu lassen, 50-60 m nicht unterschreiten.

Der Verlauf der Querprofile sollte der Winkelhalbierenden zwischen den Streichwinkeln von zwei benachbarten Nulllinienabschnitten folgen. Die Aufnahme dieses Winkels ist im Hinblick auf die spätere EDV-Anwendung ebenso wie auf die Messung der Distanzen und Höhenunterschiede zwischen den Nulllinienpunkten erforderlich.

Für die Eingabe in den Computer sind zunächst die im Gelände aufgenommenen Daten derart aufzubereiten, daß der Reihe nach

- die Entfernung der Nulllinienpunkte (gemessen vom Anfangspunkt entlang des Linienverlaufs),

- die Streichwinkel zwischen zwei aufeinanderfolgenden Nulllinienabschnitten,
- die Geländehöhen der Nulllinienpunkte und
- die Höhen der Querprofilpunkte links und rechts vom Nulllinienpunkt im Abstand von 5 m ($\approx$ bei 30 m jeweils 6 Punkte)

eingegeben werden können. Die entsprechende Eingaberoutine bildet den ersten Baustein des neugestalteten Programmteils. Abgeschlossen wird der Vorgang mit dem Ausdruck "DATEI QUERPROFILHÖHEN - GELÄNDE-DATEN", der den Dateinamen und die Anzahl der Datensätze beinhaltet.

Auf der Basis der in dieser Datei abgespeicherten Daten werden im Rahmen der rechnerintegrierten Datenverarbeitung aus den Polarkoordinaten (Distanz und Streichwinkel) die kartesischen Koordinaten der Nulllinienpunkte berechnet. Grundsätzlich werden hier im Gegensatz zu dem in Kapitel 5 beschriebenen Vorgehen, bei dem, um den Bezug zur topographischen Karte herzustellen, der Anfangspunkt des Weges auf der Karte digitalisiert wird, den Koordinaten des Anfangspunktes die Werte $x = 0$ und $y = 0$ zugeordnet. Die Ergebnisse aus der Koordinatenumrechnung werden unter der Datei "KARTESISCHE KOORDINATEN NULLLINIE - GELÄNDEDATEN" abgespeichert.

6.3.1.2 Algorithmus für die Berechnung der Geländehöhen

Als Grundlage für die Erstellung des Geländelängsprofils und der Geländequerprofile müssen die Geländehöhen der hektometrierten Stationspunkte und die Höhen der dazugehörigen Querprofilpunkte - wir bezeichnen diese im Gegensatz zu den Geländedaten im weiteren als Querprofilpunkte-Straße - links und rechts der Wegeachse ermittelt werden. Analog zu den aus dem Geländemodell errechneten Geländehöhen soll der Abstand zwischen letzteren wiederum 2,25 m ($= 1/2 \times \text{Straßenbreite}$) und die Gesamtbreite des Profils 18 m betragen.

Zur Lokalisierung der Stationspunkte liegen aus der Stationierungsliste die rechtwinkligen Koordinaten vor. Es bot sich an, diese Werte, falls möglich, als Basis für die Berechnung der Geländehöhen heranzuziehen. Als Ziel wurde dabei angestrebt, das von BENNER et al. (1973) vorgeschlagene Prinzip für die Interpolation, ggf. in modifizierter Form, zu übernehmen. Nachfolgend wird aufgezeigt, wie der gesamte Rechengang schrittweise programmiert wurde.

Schritt 1:

Die in der Stationierungsliste festgehaltenen rechtwinkligen Koordinaten der Stationspunkte, denen als Ausgangswerte die digitalisierten Koordinaten des Anfangspunktes des Weges zu Grunde liegen, müssen auf die neuen Anfangskordinaten $x = 0$, $y = 0$ bezogen werden. Die Koordinatentransformation erfolgt über die Formeln:

$$x_{\text{neu}} = \frac{(x_i - x_1) \cdot M}{40200} \quad \text{für } i = 1 \text{ bis } N \quad (34)$$

$$y_{\text{neu}} = \frac{(y_j - y_1) \cdot M}{40200} \quad \text{für } j = 1 \text{ bis } N \quad (35)$$

M steht für den Kartenmaßstab. Mit dem Faktor 40200 werden Plottereinheiten in Meter umgerechnet. N gibt die Anzahl der Stationspunkte für einen definierten Wegeabschnitt wieder.

Schritt 2:

Für die im Gelände aufgenommene Nulllinie werden als Hilfsgrößen die kartesischen Koordinaten in 0,1 m-Abschnitten ermittelt. Die dafür benötigten Informationen können aus der Datei "KARTESISCHE KOORDINATEN NULLLINIE - GELÄNDEDATEN" abgerufen werden.

Schritt 3:

Für jeden Stationspunkt werden aus den in Schritt 1 ermittelten kartesischen Koordinaten (x, y) über die trigonometrischen Beziehungen

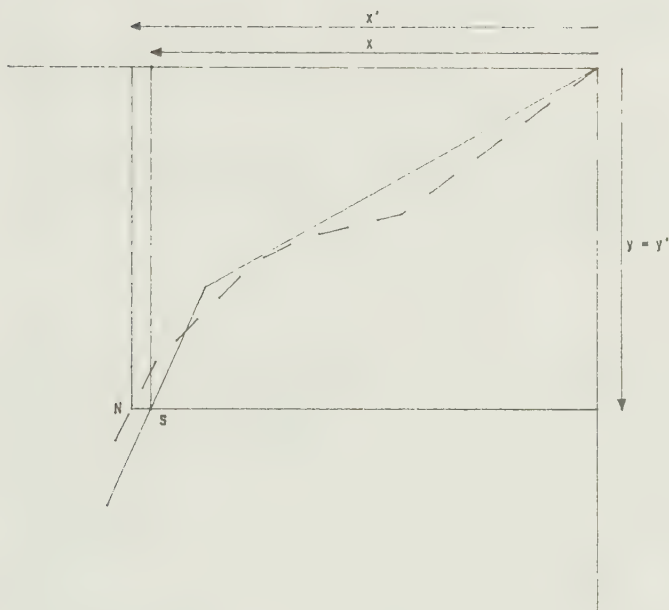
$$W_1 = \arctan \frac{x}{y} \quad (36)$$

$$L = x / \sin W_1 \quad (37)$$

mit W_1 = Streichwinkel und L = Länge die Polarkoordinaten, bezogen auf den Anfangspunkt $x = 0$, $y = 0$, berechnet.

Die ebenfalls benötigten Polarkoordinaten des Nulllinienpunktes N (siehe Abb. 72) lassen sich nach den gleichen Rechenregeln herleiten. Allerdings müssen dafür die rechtwinkligen Koordinaten dieses Punktes bekannt sein. Zu diesem Zweck wurde die Nulllinie in 0,1 m-Abschnitte eingeteilt. Es läßt sich, wie Abb. 72 beispielhaft für den Punkt N veranschaulicht, ausgehend von der y-Koordinate des Nulllinienpunktes ($\approx$ y-Wert des Stationspunktes) die dazugehörige x-Koordinate über eine einfache Suchroutine feststellen. Um in jedem Fall die fehlende Koordinate ermitteln zu können, wird mit einem Toleranzbereich von $\pm 0,1$ m, der in cm-Stufen durchlaufen wird, gearbeitet. Ob die x- oder y-Koordinate des Nulllinienpunktes der entsprechenden Koordinate des Stationspunktes gleichgesetzt wird, hängt vom Streichwinkel W_1 ab. Folgende Bereiche wurden ausgeschieden:

Streichwinkel	Koordinatenfestlegung
> 45 - 135 Grad (> 50-150 gon)	$y = y'$; x' neu
> 135 - 225 Grad (> 150-250 gon)	$x = x'$; y' neu
> 225 - 315 Grad (> 250-350 gon)	$y = y'$; x' neu
> 315 - 45 Grad (> 350- 50 gon)	$x = x'$; y' neu



- = Nulllinie
- = Wegesachse
- S = Stationspunkt
- N = Nulllinienpunkt
- x/y = Koordinaten von S
- x'/y' = Koordinaten von N

Abb.72: Ermittlung der kartesischen Koordinaten eines Nulllinienpunktes

Über die Differenz der Streichwinkel

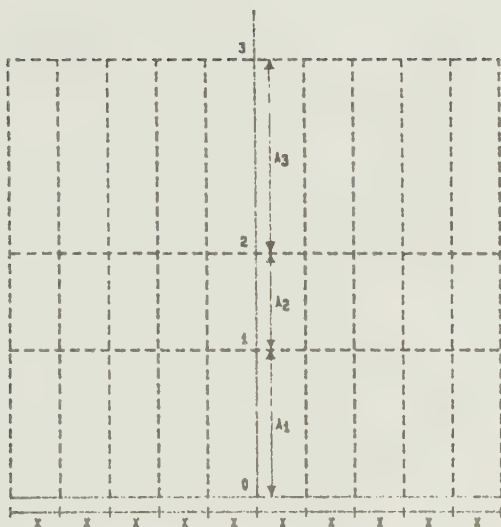
$$W = W_2 - W_1 \quad (38)$$

mit W_2 = Winkel zum Nulllinienpunkt N, kann die Lage des Stationspunktes in Bezug zur Nulllinie (mit Blickrichtung Wegende) festgestellt werden. Bei $W > 0$ liegt der Stationspunkt rechts, bei $W = 0$ auf und bei $W < 0$ links der Nulllinie.

Schritt 4:

Für die abschließende Berechnung der Geländehöhen mußte, um den Interpolationsalgorithmus von BENNER et al. (1973) anwenden zu können, ein Raster geschaffen werden, für das sowohl die Rasterelementweiten in x-, y-Richtung als auch die Höhen der Rastereckpunkte vorliegen müssen. Um dies zu erreichen, wird das Nulllinienpolygon "gestreckt", d.h. die Streichwinkel zwischen den Nulllinienpunkten werden eliminiert. Um die nachfolgenden Berechnungen zu erleichtern, wird darüber hinaus die Nulllinie in die positive y-Achse überführt. Das Resultat ist aus Abb. 73 ersichtlich. Die Nulllinienpunkte erhalten durchweg die Koordinaten $x = 0$ und y = Entfernung des jeweiligen Nulllinienpunktes vom Nullpunkt. Die von den Nulllinienpunkten aus als Winkelhalbierende aufgenommenen Querprofile verlaufen nach der Transformation der Nulllinie senkrecht zur y-Achse. Hierbei sind aufgrund der fehlenden Winkeltreue geringfügige Abweichungen zu akzeptieren.

Mit der Distanz zwischen den Nulllinienpunkten, den Abständen zwischen den Querprofilpunkten von konstant 5 m und den im Gelände aufgenommenen dazugehörigen Höhen liegen die eingangs geforderten Parameter, nämlich die Rasterelementweite in x- und y-Richtung und die Geländehöhen der Rastereckpunkte, vor. Die Vorgaben für die Berechnung der Flächenkoeffizienten, wie sie BENNER et al. (1973) vorsehen (vgl. Abschnitt 5.5.1), stehen somit zur Verfügung.



0, 1, 2, 3 = Nulllinienpunkte

A₁, A₂, A₃ = Abstand zwischen Nulllinienpunkten

x = 5 m (Abstand zwischen Querprofilpunkten)

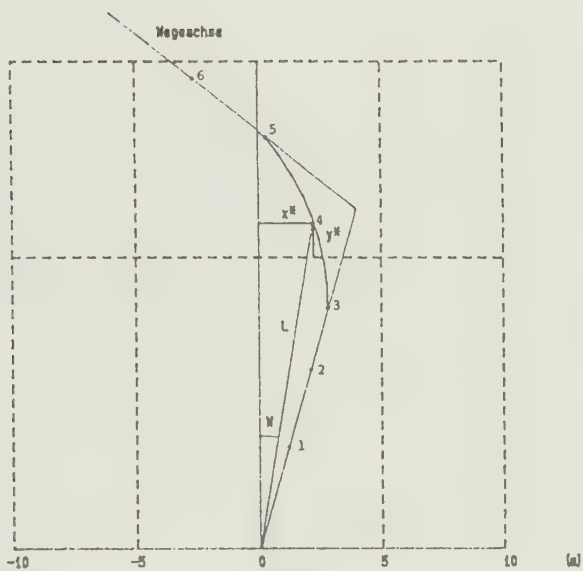
Abb.73: Aufbau eines Rasters aus Gelaendedaten

Was letztlich bleibt, ist das Problem, die lokalen x^* -, y^* -Koordinaten der Stationspunkte und darauf aufbauend die der Querprofilpunkte-Straße so zu identifizieren, daß sie den entsprechenden Rechtecksflächen zugeordnet werden können.

Über die in Schritt 3 ermittelten Parameter W und L können, wie Abb. 74 für einen Ausschnitt zeigt, durch einfache trigonometrische Zusammenhänge die x-, y-Koordinaten der Stationspunkte innerhalb des zuvor dargestellten Koordinatensystems (y-Achse = Nulllinie) ermittelt werden. Die für die Interpolation maßgebliche Rechtecksfläche läßt sich über eine Abfrageroutine feststellen. Die lokalen x^* -, y^* -Koordinaten ergeben sich aus der Differenz zwischen den Koordinatenwerten des jeweiligen Stationspunktes und den Koordinaten des Ursprungs des lokalen Koordinatensystems (vgl. Abb. 74). Zusammen mit den Flächenkoeffizienten liegen dann die Eingangsgrößen für die von BENNER et al. vorgeschlagene Interpolationsroutine vor.

Für die Berechnung der Koordinaten der Querprofilpunkte-Straße kann die im Abschnitt 5.7.1 beschriebene Routine übernommen werden. Die Höhenberechnung läuft nach dem eben beschriebenen Schema ab.

Die neu errechneten Werte für die Stationspunkte werden mit der Bezeichnung "LÄNGENPROFIL - GELÄNDEDATEN" und jene für die Querprofilpunkte unter "GRUNDDATEI QUERPROFIL - GELÄNDEDATEN" abgespeichert. Der Aufbau dieser Dateien gestattet es, die im Programmsystem "WEGSTART" anschließenden Unterprogramme ohne Einschränkungen anzuwenden. Für den Gesamtaufbau des Programmsystems bedeutet dies, daß es genügt, in die Subroutinen "GELÄNDELÄNGENPROFIL" und "QUERPROFIL" jeweils in Verbindung mit dem Programmstart eine Display-Frage einzubauen, mit der die Entscheidung getroffen werden kann, ob die Geländehöhen auf der Basis eines Geländemodells oder von Geländedaten errechnet werden sollen.



0, 1, 2, 3, ..., i = Stationspunkte

x^H, y^H = örtliche Koordinaten

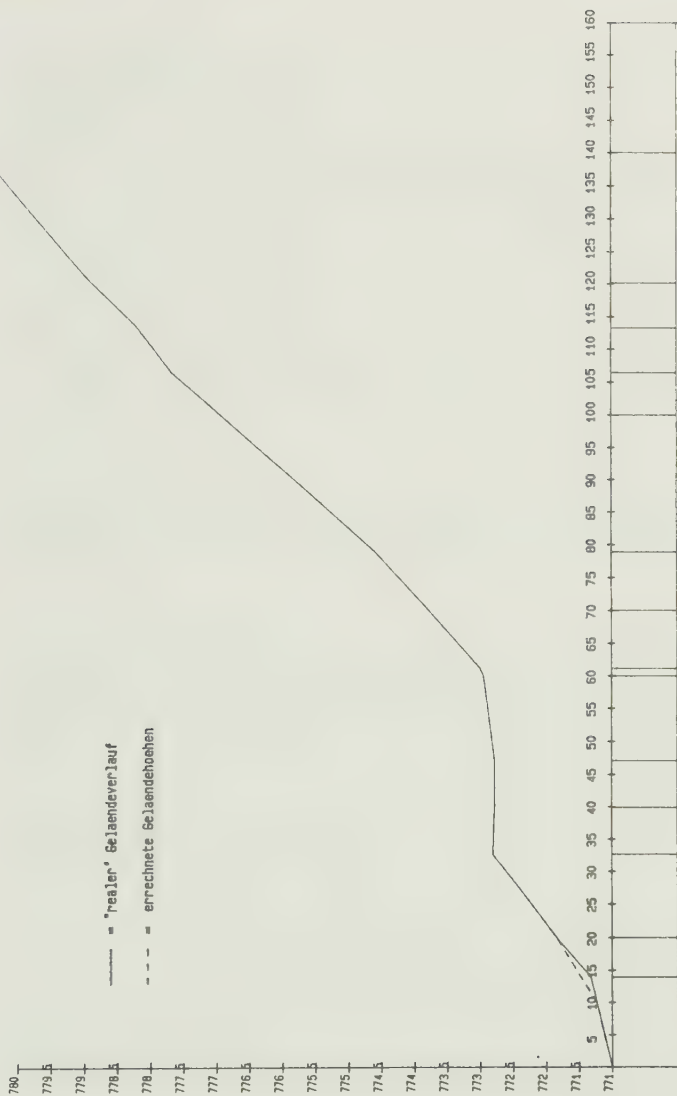
Abb.74: Ermittlung der lokalen Koordinaten

6.3.1.3 Testlauf

Wie bereits angedeutet, kann, da zur Nulllinie keine Querprofile gemessen wurden, die beschriebene Subroutine nur unter Zuhilfenahme der aus der klassischen Projektierung stammenden Geländehöhen der Stationspunkte und der dazugehörigen Querprofildaten einem Test unterzogen werden. In Anbetracht der veränderten Ausgangssituation stellt sich zwangsläufig die Frage, ob die Resultate überhaupt Rückschlüsse auf die Tauglichkeit der beschriebenen Algorithmen zulassen, oder ob von vornherein davon ausgegangen werden kann, daß beispielsweise die errechneten Geländehöhen der Stationspunkte grundsätzlich mit jenen aus dem Nivellement identisch sind. Falls die Koordinaten bei beiden Vorgehensweisen exakt übereinstimmen, trifft letztere Aussage zu. Für die örtlichen Koordinaten ergeben sich in diesem Sonderfall die Werte 0;0. Aus der Formel (14) in Abschnitt 5.5.1 wird ersichtlich, daß die Höhe des gesuchten Punktes den Wert A_0 annimmt, der wiederum der im Gelände gemessenen Höhe entspricht.

Um dennoch Hinweise auf die Genauigkeit des Interpolationsalgorithmus zu bekommen, wurden bei der Erprobung des Programmes die Höhen der im Rahmen des computergestützten Hektometrierverfahrens berechneten Stationspunkte ermittelt. Dies führte allerdings aufgrund der aus der klassischen Projektierung übernommenen Streichwinkel dazu, daß die Differenz der Streichwinkel stets den Wert 0 ergab. Die Abweichungen beschränkten sich somit auf die y-Koordinaten, d.h. auf die Stationslängen.

Die Gegenüberstellung der direkt terrestrisch aufgenommenen und der errechneten Geländehöhen für die ersten 150 m Wegstrecke (Abb. 75) zeigt, daß für den vorliegenden Sonderfall selbst bei einem Maßstab von 1:50:500 keine nennenswerten Höhenunterschiede ersichtlich sind. Die maximale absolute Differenz liegt unter 0,05 m.



PLAN: LAENGENPROFIL HOLLMAIER LEITE

HOEHEN 1: 50
LAENGEN 1: 500

Abb. 75: Gegenueberstellung von terrestrisch aufgenommenen und errechneten Gelaendehoehen

6.3.2 Programmpaket für die Projektausarbeitung im Büro

Charakteristisch für diese, für die Ausgangssituation 3 zutreffende, Alternativlösung ist, daß auf den computergestützten Übergang von der horizontalen in die vertikale Planungsebene verzichtet wird. Die Arbeit mit dem Computer beginnt mit den Planungsschritten, die nach dem Ablaufschema für die klassische Projektierung (vgl. Abschnitt 3.2, Abb. 29) der "Projektausarbeitung im Büro" zugeordnet werden. Für die Änderung des Programmsystems "WEGSTART" bedeutet dies, daß die Subroutinen für die Berechnung der Geländehöhen der Stationspunkte und der dazugehörigen Querprofilpunkte durch Eingaberoutinen für die Daten zum Geländelängsprofil (aus dem Nivellement) und zu den Geländequerprofilen ersetzt werden müssen. Wie bereits in anderem Zusammenhang angedeutet, stellt der Austausch von einzelnen Modulen kein Problem dar. Lediglich die Strukturen der Dateien, die für die nachfolgenden Planungsprogramme benötigt werden, dürfen nicht verändert werden.

Die Eingaberoutine zu den Längsprofildaten beschränkt sich darauf, im Display die Stationslängen und -höhen für jeden Stationspunkt abzufragen. Der Dateinamen und die Anzahl der Datensätze werden nach dem Abspeichern in dem Ausdruck "GELÄNDELÄNGENPROFIL - PROJEKTAUSARBEITUNG IM BÜRO" dokumentiert.

Über die in dieser Form abgespeicherten Daten zum Geländelängsprofil kann, ohne daß Modifikationen erforderlich werden, auf die bekannten Unterprogramme zum Zeichnen des Längsprofils und zum Einlegen der Gradienten zurückgegriffen werden.

Im Hinblick auf den Aufbau einer Querprofildatei, wie sie in Abschnitt 5.7 beschrieben wird, sind die Daten aus den Feldaufnahmen so zusammenzustellen, daß sie in der nachfolgend beschriebenen Reihenfolge eingegeben werden können:

- Bezeichnung der Stationspunkte (0 = Gerade, 1 = Bogenpunkt),
- Stationsabstände,
- Kurvenradien- und richtungen,
- Querprofilpunkte als Koordinaten mit $x = \pm 2,25$
bis ± 9 (positiv für rechte Seite, negativ für linke
Seite in Blickrichtung Wegende) in 2,25 m - Schritten
(= $1/2 \times$ Straßenbreite) und y = jeweilige Höhe H bezogen
auf den Koordinatenursprung auf der Wegeachse mit $H = 0$.

Die Gesamtbreite der erfaßten Querprofile beträgt wiederum 18 m. Die Parameter Dateinamen und Anzahl der Datensätze werden unter dem Namen "GRUNDDATEI QUERPROFIL - PROJEKTAUSARBEITUNG IM BÜRO" ausgedruckt.

In Verbindung mit der Datei, die aus der Berechnung der "Roten Zahl" stammt, läßt sich die Eingangsdatei für die Erdmassenberechnung (vgl. Abschnitt 5.7.2) problemlos erstellen.

Trotz der beschriebenen Modifikationen wurde für das Programmpaket für die "Projektausarbeitung im Büro" die ursprüngliche Struktur des Programmsystems "WEGSTART", wie sie auch das Hauptmenue zu Beginn des Kapitels 5 zum Ausdruck bringt, beibehalten. Dies bedeutet, daß nach wie vor das Programm für die Planung der Nulllinie und die Festlegung der Wegeachse zur Verfügung stehen. Ersteres ist ein wertvolles Hilfsmittel im Rahmen der generellen Erschließungsplanung, um möglichst rasch einen Überblick über den etwaigen Verlauf von Erschließungslinien zu bekommen.

Die Routine zur Festlegung der Wegeachse ist in zweierlei Hinsicht von Interesse. Zum einen kann nach der Eingabe der Achsdaten über die Tastatur mit Hilfe der Zeichenroutine ohne großen Aufwand ein einfacher Lageplan erstellt und zum anderen kann damit die Voraussetzung für eine ggf. erforderliche Achsverschiebung ohne zusätzliche Geländeaufnahmen geschaffen werden. Für diese Aufgabe eignet sich wiederum der in Abschnitt 6.3.1 beschriebene Algorithmus. Als Eingangsgrößen dienen in diesem Fall

die Daten aus dem Nivellement und der Querprofilaufnahme. Es ist lediglich zu beachten, daß in diesem Fall der Abstand der Querprofilpunkte aus der Geländeaufnahme nicht mit 5 m, sondern mit 2,25 m vorgegeben wird.

Für den anschließenden Test des Programmpakets für die "Projektausarbeitung im Büro" übernehmen wir die Wegeachse aus der klassischen Projektierung, bei der auf eine horizontale Verschiebung verzichtet werden kann.

6.3.3 Gegenüberstellung von EDV-gestützter und manueller Projektierung

Die ursprüngliche Konzeption, die klassische Projektierung mit der auf der Basis eines Geländemodells durchgeführten EDV-gestützten Methode zu vergleichen, ließ sich aus den genannten Gründen nicht beibehalten. Da für das Projekt "Hollmaier Leite" aus den Feldaufnahmen zur klassischen Projektausarbeitung Informationen zu den Geländebeziehungen zur Verfügung stehen, kann ersatzweise die "Projektausarbeitung im Büro" mit Hilfe des Computers durchgeführt werden.

Für die praktische Anwendung ist vor allem die Frage von Interesse, ob mit der computergestützten Gradientenfestlegung und Erdmassenberechnung das zeitaufwendige manuelle Vorgehen ersetzt werden kann. Da die Linienführungen sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Planungsebene bei beiden Methoden identisch sind, können lediglich Abweichungen bei der Erdmassenberechnung zu Veränderungen in Leistungsverzeichnis und Kostenvoranschlag führen. Die darauf zurückzuführenden Auswirkungen auf die Kosten für den Wegeneubau sind vernachlässigbar klein. Auf eine Gegenüberstellung der Kostenvoranschläge aus herkömmlicher und EDV-gestützter Projektierung kann daher verzichtet werden. Aus diesem Grund konnte auch der Testlauf auf eine Teilstrecke von 1000 m begrenzt werden.

Nach der Eingabe der Stationslängen und -höhen wurde zunächst auf der Basis der Datei

DATEI GELÄNDELÄNGENPROFIL - PROJEKTAUSARBEITUNG IM BÜRO

IN DIE DATEI LÄ1000 WURDEN 123 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

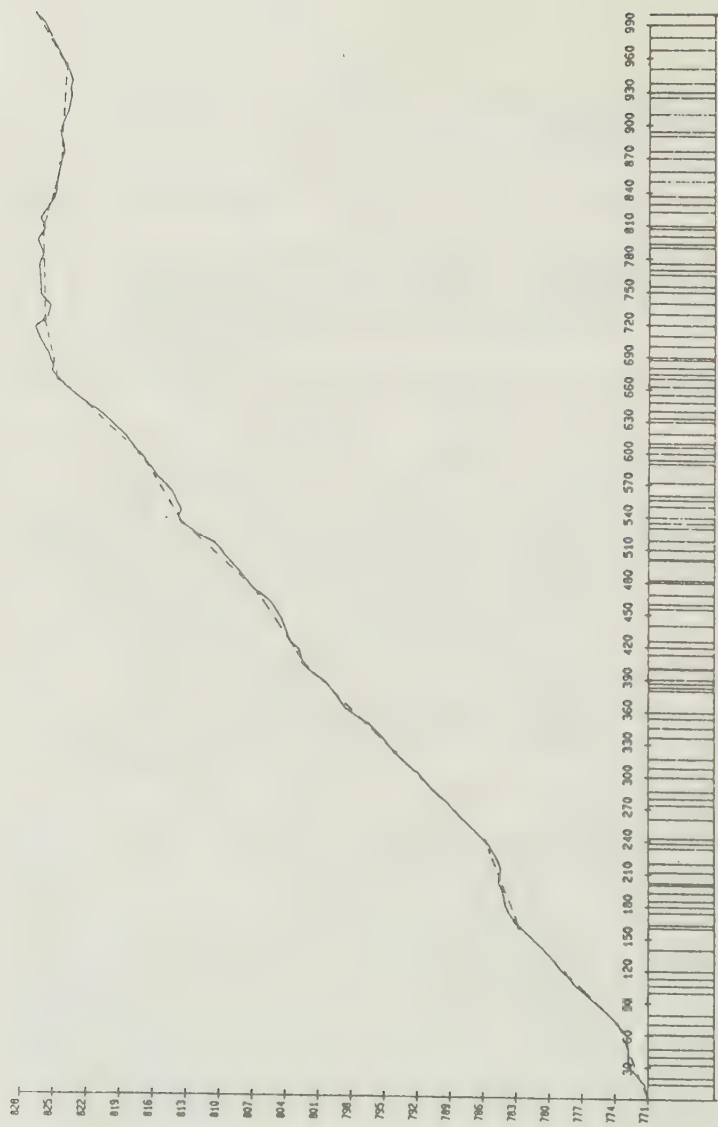
das Längenprofil gezeichnet (Abb. 76). Die Lage und damit die Anzahl der in diesem Plan übertragenen Knickpunkte stammen aus der klassischen Projektierung. Nach der Vorgabe der Ausrundungslängen, die ebenfalls von der manuellen Projektausarbeitung übernommen wurden, konnte die nachfolgende Datei aufgebaut werden.

DATEI ROTE ZAHL -- PROJEKTAUSARBEITUNG IM BÜRO

IN DIE DATEI ROTE_ZAHL WURDEN 115 DATENSÄTZE ABGESPEICHERT

In Anlage 4a ist der komplette Ausdruck "ROTE ZAHL" aufgeführt, in Anlage 4b sind die Roten Zahlen aus der manuellen und computergestützten Projektierung für alle Stationspunkte aufgelistet.

Daraus ergibt sich, daß die Abweichung im Durchschnitt bei $\pm 2,3$ cm liegt. Diese ist auf Ungenauigkeiten beim Digitalisieren der Knickpunkte zurückzuführen.



PLAN: LAENGENPROFIL HOLLMAIER LEITE

HOEHEN 1: 300
LAENGEN 1: 3000

Abb. 76: Lage der Knickpunkte fuer die EDV-gestuetzte Gradientenfestlegung

Diese geringfügigen Differenzen werden an die nachfolgenden Rechenschritte weitergegeben. Der erste beinhaltet die Ermittlung der Schnittpunkte der Gelände- mit den Kunstquerprofilen. Als Eingangsdaten werden neben den "Roten Zahlen" die eingegebenen Querprofildaten benötigt. Als Grundlage für die Erdmassenberechnung erhält man die folgende Datei:

=====

DATEI QUERPROFIL FOR MASSENBERECHNUNG

IN DER DATEI QUERPROF WURDEN 139 DATENSÄTZE GESPEICHERT

=====

Die Informationen zur Erdmassenberechnungen weisen die aufsummierten Ergebnisse aus:

=====

INFORMATIONEN ZUR ERDMASSENBERECHNUNG

VERWENDUNG INNERHALB DES PROFILS	438.49 M ³
AUFTRAGSSUMME	1136.88 M ³
ABTRAGSSUMME	1018.28 M ³

=====

Die Abweichungen zur klassischen Projektierung sind in Tabelle 26 zusammengestellt.

Tabelle 26: Gegenüberstellung von klassischer und computergestützter Projektierung - Erdmassensummen

	klassische Projektierung (= 100 %)	computergestützte Projektierung	Abweichung (3) gegen- über (2) in %
1	2	3	4
Abtrag total	1019,06 m ³	1018,28 m ³	- 0,1
Auftrag total	1085,00 m ³	1136,88 m ³	+ 4,8

Die Einzelergebnisse zur Massenberechnung können dem Ausdruck "MASSENBERECHNUNG" in Anlage 5a entnommen werden. In Anlage 5b sind jeweils profilweise die Auf- und Abtragsmengen für die klassische und EDV-gestützte Vorgehensweise gegenübergestellt. Die Abweichung beträgt durchschnittlich für Auf- und Abtrag $\pm 0,34 \text{ m}^3$ je Profil.

Beim abschließenden Massenausgleich ergaben sich gegenüber der klassischen Projektierung Verschiebungen, die in Tabelle 27 zusammengestellt sind.

Die dazugehörigen Computerausdrucke sind in Anlage 6 zusammengestellt.

Die Abweichungen sind darauf zurückzuführen, daß das Computerprogramm wiederholt die maximal zulässige Transportentfernung von 70 m ausschöpfte. Beim manuellen Vorgehen geschah das nur in einem Fall. Dies schlägt sich auch in der höheren mittleren Transportentfernung von 18,1 m gegenüber 16,6 m bei der klassischen Projektierung nieder.

Tabelle 27: Gegenüberstellung von klassischer und computergestützter Projektierung - Erdmassenausgleich

	klassische Projektierung		computergestützte Projektierung	
	Erdmasse	Stationslänge	Erdmasse	Stationslänge
Deponie	46 m ³	140 m	35 m ³	190 m
Seitenentnahme	16,5 m ³	345 m	15,5 m ³	345 m
Seitenentnahme	-	-	13 m ³	385 m
Seitenentnahme	8,9 m ³	410 m	9,8 m ³	447 m
Seitenentnahme	33 m ³	500 m	28,6 m ³	560 m
Seitenentnahme	-	-	6,5 m ³	740 m
Seitenentnahme	61,8 m ³	850 m	19,7 m ³	865 m

6.4 ERFAHRUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

6.4.1 Erfahrungen aus den verschiedenen Programmtests

Methodisch ist das Problem, die Wegeprojektierung mit Hilfe der Datenverarbeitung durchzuführen, gelöst. Hinsichtlich des angestrebten Rationalisierungseffektes ist die ursprüngliche Programmversion, bei der der Übergang von der horizontalen in die vertikale Planungsebene auf der Basis eines 3-dimensionalen Geländemodells vollzogen wird, zu favorisieren. Neben den zumindest im Untersuchungsgebiet "Hollmaier Leite" aufgetretenen Unzulänglichkeiten in den Schichtlinienplänen tritt dabei allerdings ein weiteres Problem auf: Mit der benutzten Gerätekonfiguration stößt man, gerade was die Berechnung von Geländehöhen anbelangt, sehr bald an die Grenzen der Leistungsfähigkeit. Dies schlägt sich in zum Teil sehr hohen Rechenzeiten nieder. So ist bei den in Abb. 64 abgegrenzten Flächen mit einer Größe von 36 ha der Zeitbedarf für den Aufbau eines 3-dimensionalen Geländemodells mit einer Rasterelementweite von 6 m mit ca. vier Stunden anzusetzen. Die Ermittlung der Höhen der Querprofilpunkte auf der Basis dieses Modells dauert für eine Strecke von 1000 m mit einem durchschnittlichen Abstand zwischen den Stationspunkten von 10 m etwa 6 Stunden.

Dieser hohe Rechenaufwand fällt bei den Alternativlösungen weg. Allerdings ist für die Feldaufnahmen und die Dateneingabe ein weitaus höherer Zeitbedarf anzusetzen. Darüber hinaus wird durch die manuelle Eingabe der Daten eine zusätzliche Fehlerquelle geschaffen. Schließlich ist bei den modifizierten Programmversionen der Nachteil zu akzeptieren, daß die links und rechts der Nulllinie oder der Wegeachse aufgenommenen Geländedaten nur für die jeweilige Wegeplanung verwendet werden können. Die Unabhängigkeit der Daten von einer konkreten Programmanwendung ist nicht mehr gegeben.

Als Vorteil bleibt festzuhalten, daß, zumindest was die Gradientenfestlegung und die Erdmassenberechnung anbelangt, mit Hilfe

der EDV in jedem Fall zufriedenstellende Ergebnisse erzielt werden. Für eine vorgegebene Wegeachse kann somit relativ rasch eine annähernd optimale Gradientenlage gefunden werden. Der Zeitbedarf für einen Rechendurchgang ohne Dateneingabe und Zeichnung der Querprofile liegt bei einer Streckenlänge von 1000 m bei ca. 30 Minuten.

6.4.2 Empfehlungen für die Anwendung in der Praxis

Obwohl es die verschiedenen Ausführungen des Programmpakets "WEG-START" auch dem nicht EDV-kundigen Praktiker jederzeit erlauben, zumindest Teilschritte mit Hilfe des Computers zu bewerkstelligen, sollten für den Einsatz in der Praxis, vor allem wenn dieser in größerem Umfang vorgesehen ist, folgende Aspekte beachtet werden:

1. Die benutzte Rechnerausstattung von Hewlett Packard entspricht nicht dem heute üblichen Standard bei Personal-Computern (PC). Eine Adaption der Programme auf das diesen Geräten eigene Betriebssystem MS-DOS sollte angestrebt werden.
2. In Verbindung mit der Anpassung auf ein anderes Betriebssystem ist zu prüfen, ob mit einer anderen Programmiersprache (anstatt BASIC) die Rechengeschwindigkeit erhöht werden kann. Beispielsweise ist bei der neuen Sprache "C" eine Erhöhung der Rechengeschwindigkeit um den Faktor 4 zu erwarten.
3. Sollten in Verbindung mit der Projektierung Datenaufnahmen im Gelände erforderlich werden, so ist die Benutzung von mobilen Datenerfassungsgeräten zu empfehlen. Entsprechende Programme für die Übertragung der Daten auf eine größere Rechereinheit müßten noch erstellt werden. Dieser Mehraufwand würde sich lohnen, da einerseits Zeit eingespart und andererseits eine Fehlerquelle beseitigt wird.

4. Für die Erstellung von Schichtlinienplänen sollte in Zukunft der Möglichkeit, Satellitenaufnahmen zu verwenden, zunehmend Beachtung geschenkt werden. Man kann davon ausgehen, daß die derzeit verfügbaren Satellitenbilder mit einer Auflösung von 10×10 m nur eine Zwischenstation darstellen. Für den militärischen Bereich wird bereits heute über eine Auflösung von weniger als 1×1 m berichtet.
5. Bei Benutzung von topographischen Karten muß grundsätzlich zunächst deren Genauigkeit überprüft werden. Das läßt sich sehr einfach und rasch in Verbindung mit dem Einmessen der Rasterlinien erledigen. Es genügt, eine Rasterlinie, die das gesamte Erschließungsgebiet durchschneidet, mit Hilfe des Nivelliergerätes aufzunehmen und die auf diese Weise ermittelten Geländehöhen mit den aus der Karte errechneten Höhen zu vergleichen.

7 ZUSAMMENFASSUNG

1. Die Mehrzahl der künftig anstehenden Erschließungsaufgaben zeichnet sich durch schwierige Randbedingungen aus. Bei diesen meist teuren und in vielen Fällen ökologisch und landwirtschaftlich kritischen Projekten werden Informationen benötigt, die bislang nur im Rahmen einer detaillierten Projektausarbeitung gewonnen werden konnten. Personal- und Zeitmangel in Ländern mit einer geregelten Forstwirtschaft und häufig fehlendes Fachwissen in Entwicklungsländern lassen derzeit die klassische Ausarbeitung von Wegbauprojekten nur in wenigen Ausnahmefällen zu.

In der vorliegenden Arbeit wird eine Methode vorgestellt, die es ermöglicht, die klassische Wegeprojektierung mit Hilfe der modernen Datenverarbeitung durchzuführen.

2. Für die Erschließungsplanung werden umfangreiche Informationen benötigt. Diese gilt es, vorbereitend für EDV-gestützte Planungsverfahren, in den Computer aufzunehmen, dort zu speichern und bei Bedarf in geeigneter, ggf. aggregierter Form den entsprechenden Planungsschritten zur Verfügung zu stellen.

Ein Schwerpunkt der Untersuchung liegt daher auf dem Entwurf einer diesen Bedürfnissen angepaßten Informationsbasis. Die in diesem Zusammenhang entwickelte Gelände- und Planungsdatenbank erlaubt die Dateneingabe sowohl flächenbezogener Daten (über das Digitalisiergerät) als auch stichprobenbezogener Informationen (über die Tastatur). Der Aufbau der Dateien erfolgt im Anhalt an die Tabellenform relationaler Datenbankmodelle. Über datenbankinterne Verknüpfungs- und Ableitungsregeln können weitere planungsrelevante Informationen ermittelt werden. Hervorzuheben ist dabei die Option, ein 3-dimensionales Geländemodell zu generieren. Mit der Wiedergabe von Planungskarten sowohl auf dem Bildschirm als auch mit Hilfe des Plot-

ters können schließlich die Voraussetzungen für die Planung mit Bildschirm und Digitalisiergerät geschaffen werden.

3. Für das Erschließungsgebiet "Hollmaier Leite" wird an einer Reihe von Planungskarten aufgezeigt, in welcher Form sich der Benutzer die Informationen aus einer Datenbank plotten lassen kann. Die Palette reicht von der Darstellung der Topographie als flächengleiche Information bis hin zu verschiedenen thematischen Rasterkarten.
4. Als Vergleichsbasis für die Ergebnisse aus der EDV-gestützten Projektierung wird im Erschließungsgebiet "Hollmaier Leite" für eine Erschließungsvariante die Projektausarbeitung in klassischer Weise durchgeführt. Das Vorgehen und die daraus resultierenden Pläne und Kennzahlen werden im Detail dargelegt.
5. Für die EDV-gestützte Projektierung von Waldwegen gibt es bereits eine Reihe von Programmen, die allerdings den Computereinsatz nur für einzelne Planungsschritte vorsehen. Diese Software wird auf ihre Eignung für ein eigenes Programmpaket analysiert.
6. In einem kurzen Abriss wird die Entwicklung des EDV-Einsatzes beim klassischen Straßenbau skizziert. Die dort in vielen Fällen praktizierte Implementierung der Programme auf Großrechner einerseits und die überwiegend kommerzielle Nutzung der Software andererseits erlauben wenig Rückschlüsse im Hinblick auf die eigenen Programmierarbeiten.
7. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht die Entwicklung eines Programmpakets für die EDV-gestützte Wegeprojektierung. Dabei wird ein benutzerfreundliches, d.h. ein über Bildschirmmenues im Dialog verwendbares System angestrebt. Die Bausteine der Software entsprechen den Ablaufabschnitten der klassischen Vorgehensweise. Ausgehend von der mit Hilfe des Digitizers ge-

planten Leitlinie und Wegeachse bildet der computergestützte Übergang von der horizontalen in die vertikale Planungsebene auf der Basis eines 3-dimensionalen Geländemodells den zentralen Bestandteil des Programmpakets. Sowohl die Geländehöhen der Stationspunkte als auch der Querprofilpunkte können innerhalb dieser Subroutine über verschiedene Interpolationsalgorithmen errechnet werden. Die maßstabsgetreue Zeichnung des Geländelängsprofils auf dem Plotter und das Einlegen der Gradientenknickpunkte mit Hilfe des Digitizers schließen sich an. Dieser Vorgang wird mit der Berechnung der "Roten Zahl" abgeschlossen.

Eine weitere Schlüsselstellung nimmt die Erstellung der Schnittpunkte zwischen den Gelände- und Kunstquerprofilen ein. Neben dem Aufbau dieser für die Erdmassenberechnung wichtigen Datei können mit diesem Unterprogramm die Querprofile gezeichnet werden. Mit Hilfe der Schnittpunkte zwischen Gelände- und Kunstquerprofilen lassen sich die Auftrags- und Abtragsflächen identifizieren und letztlich der Erdmassenauftrag und -abtrag errechnen. Mit dem Programm zum Erdmassenausgleich erhält der Anwender Aufschluß darüber, in welchem Streckenabschnitt Seitenentnahme oder Deponie von Erdmassen erforderlich ist.

Abschließend besteht die Möglichkeit, das Leistungsverzeichnis und den Kostenvoranschlag anhand einer Reihe von Displayfragen zu erstellen.

8. In einem Programmtest für das Wegeprojekt "Hollmaier Leite" wird aufgezeigt, daß die ursprüngliche Konzeption der EDV-gestützten Planung mit dem Übergang von der horizontalen in die vertikale Planungsebene auf der Basis eines 3-D-Modells auf Grund von Ungenauigkeiten in den Informationen zur Topographie nicht in jeder Planungssituation anwendbar ist. Daher werden zwei alternative Programmversionen ausgearbeitet. Mit ersterer ist weiterhin der computergestützte Übergang von der horizontalen in die vertikale Planungsebene, allerdings in diesem

Fall auf der Basis von im Gelände erhobenen Querprofil-
daten, realisierbar. Die zweite Lösung erlaubt, zumindest die Teil-
schritte der "Projektausarbeitung im Büro" mit Hilfe der Da-
tenverarbeitung durchzuführen. Die Informationen zum Gelände-
längsprofil und zu den Geländequerprofilen stammen aus Feld-
aufnahmen. Die rechnergestützte Gradientenfestlegung und Erd-
massenberechnung führen zu zufriedenstellenden Ergebnissen.

9. Abschließend werden die Erfahrungen aus den verschiedenen Pro-
grammtestläufen zusammengestellt und Empfehlungen für die Über-
nahme des Programmpakets in die Praxis gegeben.

8 LITERATURVERZEICHNIS

- ABELI, W., S.: Forest road planning and control by mathematical programming and time study analysis. Dissertation, Sokoine University of Agriculture, Tanzania, Morogoro 1985.
- ARETIN, T., v.: Handbuch zum Abstecken von Kurven. Verlagsbuchhandlung Hans Husslein, München 1964.
- ATHANASSOULIS, G., C.; CALOGERO, V.: A computer technique for route planning. The Journal of the Institution of Highway Engineers 4 (1973), S. 4-11.
- PACKMUND, F.: Maschineller Forstwegebau im Hochgebirge. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 6 (1962), S. 310-319.
- BASTIAN, M.: Datenbanksysteme. Athenäum-Verlag, Königstein 1982.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bayerische Staatsforstverwaltung: Richtlinien für die Erschließung des Staatswaldes in Bayern. München 1982.
- BEAVEN, P., J.; LAWRENCE, C., J.: Terrain Evaluation for highway planning and design. Transportation Research Record 892.
- BENNER, E.; SCHULT, R.: Digitales Geländemodell auf der Grundlage regelmäßiger Rechteckraster. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 153. Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau, Bonn 1973.
- BOESEFELDT, J.; HAMESTER, H.: Anforderungen an einen graphischen interaktiven Arbeitsplatz im Straßenentwurf. Straße und Autobahn 11 (1985), S. 465-467.
- BOTT, G.: Untersuchung über die Projektausarbeitung nach verschiedenen Methoden (konventionell und mit EDV). Diplomarbeit, Zürich 1978.
- BOWMAN, J., K.: The rapid survey and design of forest roads. Montana, Missoula 1980.
- BURKE, D.: Automated analysis of timber access road alternatives. US Forest Service General Technical Report PNW-27. Oregon, Portland 1974.
- BURKE, D.: The mass diagram in timber access road analysis. US Forest Service Research Note, PNW-234. Oregon, Portland 1974.
- BURKE, D.: Topometries: A system for evaluating route alternatives. Transportation Research Board, Special Report 160, 1976.

- BURLET, E.: Dimensionierung und Verstärkung von Straßen mit geringerem Verkehr und flexiblem Oberbau. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 8 (1981), S. 645-672.
- CARSON, W., W.; DYKSTRA, D., P.: Programs for road network planning. US Forest Service General Technical Report PNW-67. Oregon, Portland 1978.
- CASPARY, W.; HEISTER, H.; WELSCH, W.: Die dynamische Optimierung und ihre Anwendung bei der optimalen Gradientenführung. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 4 (1980), S. 166-178.
- CASPARY, W.; HEISTER, H.; WELSCH, W.: Ein interaktives Programmsystem zur Entwicklung einer optimalen Trasse auf der Grundlage topographischer Karten. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 4 (1980), S. 178-191.
- CODD, E., F.: A relational model for large shared data banks. CACM (1970), S. 377-387.
- CODD, E., F.: Further normalization of the data base relational model. Data Base Systems (1972), S. 33-64.
- DATE, C., J.: An Introduction to Database Systems. 2. Aufl. Reading (Mass.), 1977.
- DIETZ, P.; KNIGGE, W.; LÖFFLER, H.: Walderschließung. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1984.
- DÜRRSTEIN, H.: Computer-aided network planning and road design - needs and possibilities in European alpine areas. Proceedings of the Joint Symposium of the IUFRO Mountain Logging Section and the Sixth Pacific Northwest Skyline Logging Symposium, S. 45-49, Vancouver 1985.
- DÜRRSTEIN, H.: Die Gelände- und Planungsdatenbank als Grundlage für EDV-gestützte Planungsaufgaben. Vortrag anlässlich der KWF-Arbeitstagung "Datenverarbeitung im Forst", München 1986.
- DYKSTRA, D., P.: Optimal design of secondary forest access roads. Dokumentation des Kongresses der IUFRO Division 3 während der INTERFORST 82, S. 25-43. München 1982.
- EHRBAR, R.: Tragfähigkeit von Waldböden im nordöstlichen schweizerischen Mittelland (obere Süßwassermolasse). Dissertation ETH Nr. 7273, Zürich 1983.
- EYLERT, D.; EYLERT, B.: Ein Verfahren zur Achsenoptimierung. Straße und Autobahn 12 (1977), S. 535-539.
- FEUERBAUM, P.: Methodische Untersuchungen zur forsttechnischen Bodenkartierung. Diplomarbeit, München 1985.

- FIDES: Wald - Programm zur Projektierungshilfe bei der Ausarbeitung von Detailprojekten für Sekundärstraßen. 5. Auflage, Zürich 1983.
- FISCHER, R.; KARNER, G.: Rechnerunterstützte Verfahren zur Auffindung, Beurteilung und Auswahl von Trassen für Landverkehrswege. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 4 (1980), S. 191-198.
- FLESSNER, H.; HANSMANN, W.: Kriterien zur Beurteilung von Hard- und Software für einen graphischen interaktiven Arbeitsplatz im Straßenentwurf. Straße und Autobahn 11 (1985), S. 468-471
- FLOSS, R.: Bodenmechanische Gesichtspunkte bei der Auswahl und Dimensionierung von Straßenbefestigungen. Straße und Autobahn 1 (1973), S. 17-26.
- FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRASSENWESEN: Hinweise zur Entwurfsbearbeitung im Straßenbau unter Anwendung von DV-Programmen. Köln 1980.
- FULCZYK, A., G.: Trassenglättung im Grundriß durch Spline-Algorithmen (GLAT). Straße 12 (1982), S. 400-404.
- GORTON, F.: Stand und Zukunft des Forststraßenbaues in Österreich. Wald- und Holzwirtschaft 8 (1985), S. 160-161.
- GORTON, F.: Praxis und Kosten einer landschaftsschonenden Bauausführung von Forststraßen. Allgemeine Forstzeitung Wien 9 (1985), S. 241-243.
- GRÜNDIG, L.: AXOPT - Ein Programmsystem zur automatischen Trassierung von Verkehrswegen. Internes Papier am IAGB, Universität Stuttgart, 1981.
- GOTOU, J.: The application of the digital terrain map to the management of mountain forest (I) - On the digital terrain map and the distribution map on the maximum slope gradient. Bulletin of the Kochi University Forests No. 9, 1982.
- GOTOU, J.; OGATA, H.: The application of the digital terrain map to the management of mountain forest (II) - On the trial planning of forest road and the evaluation of its location by the time required to each stand. Bulletin of the Kochi University Forests No. 10, 1983.
- HAFNER, F.: Forstlicher Straßen- und Wegebau, 2. Auflage. Österreichischer Agrarvertrag, Wien 1971.
- HÄRDER, T.: Struktur von Datenbanksystemen. Fachseminar Datenbanksysteme, Systems 85. München 1985.

- HINTZEN, J.: Elektronische Berechnung der optimalen Gradientenführung im Straßenbau. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 68. Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau, Bonn 1968.
- HORNE, A., I., D.: MAPLE - The Forestry Commission map digitising system. Forestry Commission Research and Development Division, Research Information Note Nr. 93, 1984.
- HORNE, A., I., D.; WHITLOCK, M., D.: The Forestry Commission subcompartment database. I. Description of the data held. Forestry Commission Research and Development Division, Research Information Note Nr. 94, 1984.
- HORNE, A., I., D.: The Forestry Commission subcompartment database. II. Background and current applications. Forestry Commission Research and Development Division, Research Information Note Nr. 95, 1984.
- HUSS, J.: Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe 1984.
- KARL, H.: Anleitung zum Waldwegebau. J.G. Cottascher Verlag, Stuttgart und Tübingen 1842.
- KITAGAWA, K.: A new logical system for forest road network planning. Proceedings of IUFRO S 4.04 Symposium, Tokyo 1984.
- KOBAYASHI, H.: A study on automatic processing in forest road design mainly concerning the earthwork. Bulletin of the Government Forest Experiment Station No. 254. Japan, Tokyo 1973.
- KOBAYASHI, H.: A method of forest road route location with an electronic computer. Bulletin of the Government Forest Experiment Station, No. 249. Japan, Tokyo 1977.
- KOCH, K., R.: Digitales Geländemodell und automatische Höhenlinienzeichnung. Zeitschrift für Vermessungswesen 8 (1973), S. 346-352.
- KOCH, K., R.: Optimierung der Linienführung von Straßen im Grundriß. Straße und Autobahn 6 (1975), S. 223-229.
- KÖLBL, O., R.: Combined restitution of air and satellite photos for topo maps. Photogrammetric Engineering (1974), S. 441-450.
- KOURTZ, P., H.: Mini-computer production of gridded elevation data from contour maps. Petawawa National Forestry Institute, Information Report PI-X-18. Ontario 1982.
- KRAUS, K.: Automatische Berechnung digitaler Höhenlinien. Zeitschrift für Vermessungswesen 6 (1971), S. 233-239.

- KÜHN, W.: Der rechnergestützte Straßenentwurf - Analyse des internationalen Entwicklungsstandes. Die Strasse 10 (1984), S. 295-299.
- KUONEN, V.: Computergestützte Projektausarbeitung. Dokumentation des Kongresses der IUFRO Division 3 während der INTERFORST 82, S. 73-90. München 1982.
- KUONEN, V.: Wald- und Güterstraßen. Planung - Projektierung - Bau. Eigenverlag, Pfaffenhausen 1983.
- KUONEN, V.: Integrale Erschließungsplanung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 9 (1985), S. 691-703.
- LE NGOC QUY: Aerophotogrammetrie in der Erschließungsplanung und im Waldstraßenbau - Die Übertragung der photogrammetrischen Verfahren in Projektierung und Bau von Straßen auf die Walderschließungsplanung. Dissertation, Freiburg 1971.
- LINKWITZ, K.: Digitale Geländemodelle - Theoretische Grundlagen - Anwendungsmöglichkeiten. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Heft 220 (1979), S. 222-242.
- LINKWITZ, K.; BENNER, E.; PROFKE, L.: Untersuchung von Rechenprogrammen für die Entwurfsbearbeitung. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 83. Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau, Bonn 1969.
- LINKWITZ, K.; NAKAMURA, H.; PROFKE, L.: Mathematische Grundlagen digitaler Geländemodelle und Vorschläge für ihre Verwirklichung. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 127. Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau, Bonn 1972.
- LÖFFLER, H., D.: Walderschließung als Kulturaufgabe. Allgemeine Forstzeitschrift München 1/2 (1982), S. 12-16.
- LÖFFLER, H., D.: Terrain classification for forestry. Final Report to the Joint FAO/ECE/ILO Committee on the Project 14.3.1.2.4. München 1984.
- LÖFFLER, H., D.; DÜRRSTEIN, H.: Planung und Bewertung der Walderschließung unter besonderer Berücksichtigung des Kleinprivatwaldes. München 1985.
- LORENZ, H.: Trassierung und Gestaltung von Straßen und Autobahnen. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1971.
- MATTES, H.: Detailprojektierung von Forststraßen mit Hilfstabellen, EDV-Einsatz und Plotter. Internationaler Holzmarkt, 25/26 (1976).
- MAYR, H., C.: Benutzerschnittstellen und Anwendungen von Datenbanksystemen. Fachseminar Datenbanksysteme, SYSTEMS 85. München 1985.

- MEYR, R.: Ausarbeitung von Wald-Straßenprojekten mit Hilfe von Computern. Allgemeine Forstzeitung Wien 2 (1972), S. 29-30.
- MOROFOSKY, E.: Sensitivity ratings as a guide in locating and evaluating transportation routes and corridors. Forest Management Institute, Information Report FMR-X-101. Ontario, Ottawa 1977.
- NATSCHKA, H.: Das Digitale Geländemodell, Teil 1. TIS 1 (1983), S. 7-9.
- NATSCHKA, H.: Das Digitale Geländemodell, Teil 2. TIS 2 (1983), S. 64-70.
- NICKERSON, D., B.: Skyline payload analysis using a desktop computer. US Forest Service. Oregon, Portland 1980.
- OHSE, D.: Graphentheorie und verwandte Gebiete - Transportprobleme. Fernuniversität Hagen 1981.
- OSTERLOH, H.: Erdmassenberechnung, 4. Aufl. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1985.
- PESTAL, E.: Projektierung von Forststraßen mittels Nullebene und Freihandpolygon. Forstarchiv 9 (1975), S. 181-187.
- PESTAL, E.: Freihandaufnahme von Forstwegtrassen und deren Näherungsauswertung. Allgemeine Forstzeitung Wien 8 (1977), S. 198-202.
- PRACTICE OF FOREST ROAD CONSTRUCTION: From planning to completion. Japan 1984.
- PRATT, D., J.: Computers in highway engineering. The Journal of the Institution of Highway Engineers 8 (1981), S. 9-15.
- RAAFATNIA, N.: Ausgewählte Entscheidungsgrundlagen zur Projektierung von Straßen mit geringem Verkehrsvolumen dargestellt am Beispiel der Waldstraße. Dissertation ETH Nr. 6150, Zürich 1978.
- REBSAMEN, J.: Datenbankentwurf im Dialog - Integrierte Beschreibung von Strukturen, Transaktionen und Konsistenz. Dissertation ETH Nr. 7325, Zürich 1983.
- RUDERT, D.; FLESCHE, H.: Computerunterstützte Absteckung und Massenberechnung von Erd- und Frostschutzarbeiten im Straßenbau. Teerbau Veröffentlichungen 29 (1983), S. 30-42.
- RÜSCH, W.: Der Orthophotoplan als neues technisches Hilfsmittel im Forstwesen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 10 (1980), S. 887-916.
- SCHANTZ, W.: Walderschließung in Bayern. Allgemeine Forstzeitung Wien 11 (1983), S. 264-268.

- SCHARFENBERGER, M.: Taschenlexikon mit ausführlicher Erklärung der wichtigsten Begriffe für alle Personal Computer-Anwender. Verlag Markt & Technik, Haar 1982.
- SCHEK, H., J.: Optimierungsberechnungen und Sensitivitätsanalysen als Hilfsmittel bei der Entwurfsbearbeitung von Straßen. Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 153. Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau, Bonn 1973.
- SCHILLER, F.: Beitrag zur computergestützten Projektausarbeitung von Forststraßen - Entwickelt an einer Leitlinie im Panjul-Forst in Nordwestpakisten. Diplomarbeit, München 1985.
- SCHMIDT, A.: Ein Vorschlag zur Datenstruktur bei der Realisierung digitaler Geländemodelle auf EDVA des Systems der Kleinrechner. Vermessungstechnik 10 (1983), S. 344-346.
- SCHRADER, B.: EDV im Vermessungswesen, Band 2: Informationsmerkmale - Programmiersprache COBOL - Programmsysteme für Tischcomputer. Konrad Wittwer Verlag, Stuttgart 1985.
- SEDLAK, O.: Die Forststraßenplanung in der Praxis. Allgemeine Forstzeitung Wien 8 (1977), S. 191-198.
- SENGES, W.: Der HP 41 - ein Kleinrechnersystem für das Vermessungswesen. Vermessungstechnische Hard- und Software. R. Oldenbourg Verlag, München - Wien 1984.
- SHIBA, M.; SASAKI, I.: Application of spatial harmonic and spectral analysis to the quantification of terrain variation in mountainous regions using FACOM M-200 computer. Department of Forestry, Faculty of Agriculture. Japan, Kyoto 1981.
- SHIBA, M.; YAMAMOTO, T.; SASAKI, I.: Quantification of terrain variation in mountainous regions based upon numerical map analysis by means of electronic computer (II). Bulletin of the Kyoto University Forests, No. 54. Japan, Kyoto 1982.
- SHIBA, M.; FURUTANI, S.; YAMAMOTO, T.; SASAKI, I.: Quantification of terrain variation in mountainous regions based upon numerical map analysis by means of electronic computer (III). Accessibility to the modelling of terrain configuration employing the minimum AIC estimation (MAICE) procedure. Bulletin of the Kyoto University Forests, No. 55. Japan, Kyoto 1983.
- SPELLMANN, H.: Zustandserfassung in Kiefernbeständen mit Hilfe des Luftbildes. Dissertation, Göttingen 1984.
- STENZEL, G.; WALBRIDGE, T., A.; PEARCE, J., K.: Logging and pulpwood production, 2nd edition. A Wiley - Interscience Publication, New York 1985.

- STREICH, B.; MARAITE, F.: Ein einfaches Achsberechnungsverfahren auf der Grundlage graphischer Grundrißfreihandlinien. Straßenverkehrstechnik 3 (1985), S. 102-106.
- TAVERNA, E.: Computerunterstützte Projektierung von Waldstraßen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 8 (1981), S. 683-687.
- THALLON, K., P.; WHITLOCK, M., D.: Forest Inventory Data Bank. Forestry Commission Research and Development Division, Research Information Note Nr. 33, 1977.
- THIEME, F.; LORBACH, J.: Forstliche Datenbank auf der "INTERFORST 78" in München. Allgemeine Forstzeitschrift 20/21 (1978), S. 588.
- TWITO, R., H.: Plotting landscape perspectives of clearcut units. US Forest Service General Technical Report PNW-71. Oregon, Portland 1978.
- UMWELTBUNDESAMT: Handbuch zur ökologischen Kartierung, Band 1-3. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1981.
- US DEPARTMENT of the Interior: Forest Engineering Handbook. Oregon, Corvallis 1976.
- VINEK, G.; RENNERT, P., F.; TJOA, A., M.: Datenmodellierung - Theorie und Praxis des Datenbankentwurfs. Physica-Verlag, Würzburg - Wien 1982.
- VOLQUARDT, H.; MATTHEWS, K.: Vermessungskunde, Teil 1 und 2. B. G. Teubner, Stuttgart 1967.
- WEIHS, E.: Zur Anwendung der Nutzwertanalyse des Handbuches zur ökologischen Planung für raumbedeutsame Fragestellungen. Natur und Landschaft 1 (1985), S. 12-16.
- WENDL, G.: Datenbereitstellung im Personal-Computer mit Hilfe von Datenbanksystemen. Landtechnik Weihenstephan, SFB 141, Nr. 4, 1983.
- WIRTH, V.: Das Pflichtenheft - Vermittler zwischen Anwender und Software-Haus. Die Naturstein-Industrie 6 (1985), S. 7-13.
- WRIGHT, H.: Forest Level Road Design System (FLRDS). US Forest Service, Oregon, Portland 1984.
- YAMAMOTO, T.; SAITO, K.; SHIBA, M.; SASAKI, I.: Quantification of terrain variation in mountainous regions, based upon numerical map analysis by means of electronic computer (I). Bulletin of the Kyoto University Forests, No. 53. Japan, Kyoto 1981.
- YOUNG, G. G.: Die Anwendung digitaler Geländemodelle in der forstlichen Betriebsplanung. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Heft 220 (1979), S. 273-306.

9 ANLAGEN

Übersicht:

Anlage 1 :	Informationen zur Datenbank
Anlage 2a:	Kostenvoranschlag (Forstamt)
Anlage 2b:	Kostenvoranschlag (nach Projektausarbeitung)
Anlage 2c:	Dimensionierungsdiagramm
Anlage 3a:	Grundtabelle für die lineare Optimierung
Anlage 3b:	Eingangsmatrix für das Transportproblem
Anlage 3c:	Prüfung der Optimalitätsbedingungen
Anlage 3d:	Optimale Lösung
Anlage 4a:	"Rote Zahl" (EDV-gestützte Projektierung)
Anlage 4b:	Gegenüberstellung - "Rote Zahl"
Anlage 5a:	Massenberechnung (EDV-gestützte Projektierung)
Anlage 5b:	Gegenüberstellung - Massenberechnung
Anlage 6 :	Informationen zum Massenausgleich

.....
D A T E N B A N K F L A C H E N D A T E N
.....

I N D E R D A T E I P _ K A R D W U R D E N 9 0 D A T E N S Ä T Z E G E S P E I C H E R T
.....
.....

.....
D A T E N B A N K F L A C H E N D A T E N
.....

I N D E R D A T E I N _ K A R D W U R D E N 1 8 3 4 D A T E N S Ä T Z E G E S P E I C H E R T
.....
.....

.....
D A T E N B A N K F L A C H E N D A T E N
.....

I N D E R D A T E I H F W W U R D E N 1 8 6 D A T E N S Ä T Z E G E S P E I C H E R T
.....
.....

.....
D A T E N B A N K F L A C H E N D A T E N
.....

I N D E R D A T E I R W _ 1 W U R D E N 6 5 7 D A T E N S Ä T Z E G E S P E I C H E R T
.....
.....

.....
D A T E N B A N K F L A C H E N D A T E N
.....

I N D E R D A T E I R W _ 2 W U R D E N 1 4 0 7 D A T E N S Ä T Z E G E S P E I C H E R T
.....
.....

.....

DATENBANK FLÄCHENDATEN

.....

IN DER DATEI GEB_GRENZ WURDEN 718 DATENSÄTZE GESPEICHERT

.....

.....

DATENBANK FLÄCHENDATEN

.....

IN DER DATEI PAR_GRENZ WURDEN 7030 DATENSÄTZE GESPEICHERT

.....

.....

DATENBANK FLÄCHENDATEN

.....

IN DER DATEI 2_TOPO_T WURDEN 32470 DATENSÄTZE GESPEICHERT

.....

.....

DATENBANK FLÄCHENDATEN

.....

IN DER DATEI 2_TOPO_L WURDEN 24160 DATENSÄTZE GESPEICHERT

.....

=====

D A T E N B A N K R A S T E R D A T E N

IN DER DATEI CBR WURDEN 116 DATENSÄTZE GESPEICHERT

=====

=====

D A T E N B A N K R A S T E R D A T E N

IN DER DATEI HANG_KL WURDEN 116 DATENSÄTZE GESPEICHERT

=====

=====

D A T E N B A N K R A S T E R D A T E N

IN DER DATEI RAUH_KL WURDEN 116 DATENSÄTZE GESPEICHERT

=====

=====

D A T E N B A N K R A S T E R D A T E N

IN DER DATEI NA WURDEN 116 DATENSÄTZE GESPEICHERT

=====

=====

D A T E N B A N K A B G E L E I T E T E D A T E N

I N D E R D A T E I G E L _ K L W U R D E N 1 1 6 D A T E N S Ä T Z E G E S P E I C H E R T

=====

=====

D A T E N B A N K A B G E L E I T E T E D A T E N

I N D E R D A T E I B E F A H R _ K L W U R D E N 1 1 6 D A T E N S Ä T Z E G E S P E I C H E R T

=====

=====

D A T E N B A N K A B G E L E I T E T E D A T E N

I N D E R D A T E I R E W U R D E N 1 1 6 D A T E N S Ä T Z E G E S P E I C H E R T

=====

=====

D A T E N B A N K A B G E L E I T E T E D A T E N

I N D E R D A T E I D I M _ T S W U R D E N 1 1 6 D A T E N S Ä T Z E G E S P E I C H E R T

=====

=====

D A T E N B A N K A B G E L E I T E T E D A T E N

I N D E R D A T E I C O S T _ A R E A W U R D E N 1 1 6 D A T E N S Ä T Z E G E S P E I C H E R T

=====

D A T E N B A N K A B G E L E I T E T E D A T E N

IN DER DATEI 3_D_MODELL WURDEN 116 DATENSÄTZE GESPEICHERT

D A T E N B A N K A B G E L E I T E T E D A T E N

IN DER DATEI RWS WURDEN 116 DATENSÄTZE GESPEICHERT

FAKTOR 1:	HANGNEIGUNG	GEWICHTUNG =	50
FAKTOR 2:	BODENTRAGFÄHIGKEIT	GEWICHTUNG =	40
FAKTOR 3:	RAUHIGKEIT	GEWICHTUNG =	10

• 1) Die Nullkostenbedingung ist erfüllt

KOSTENANSCHLAG zum Bauvorhaben

(Kosten ohne MwSt.) Hollmaier, Leite

Anlage 2b

Waldwirtschaftsweg .. Hollmaier, Leite Gemeinde ..

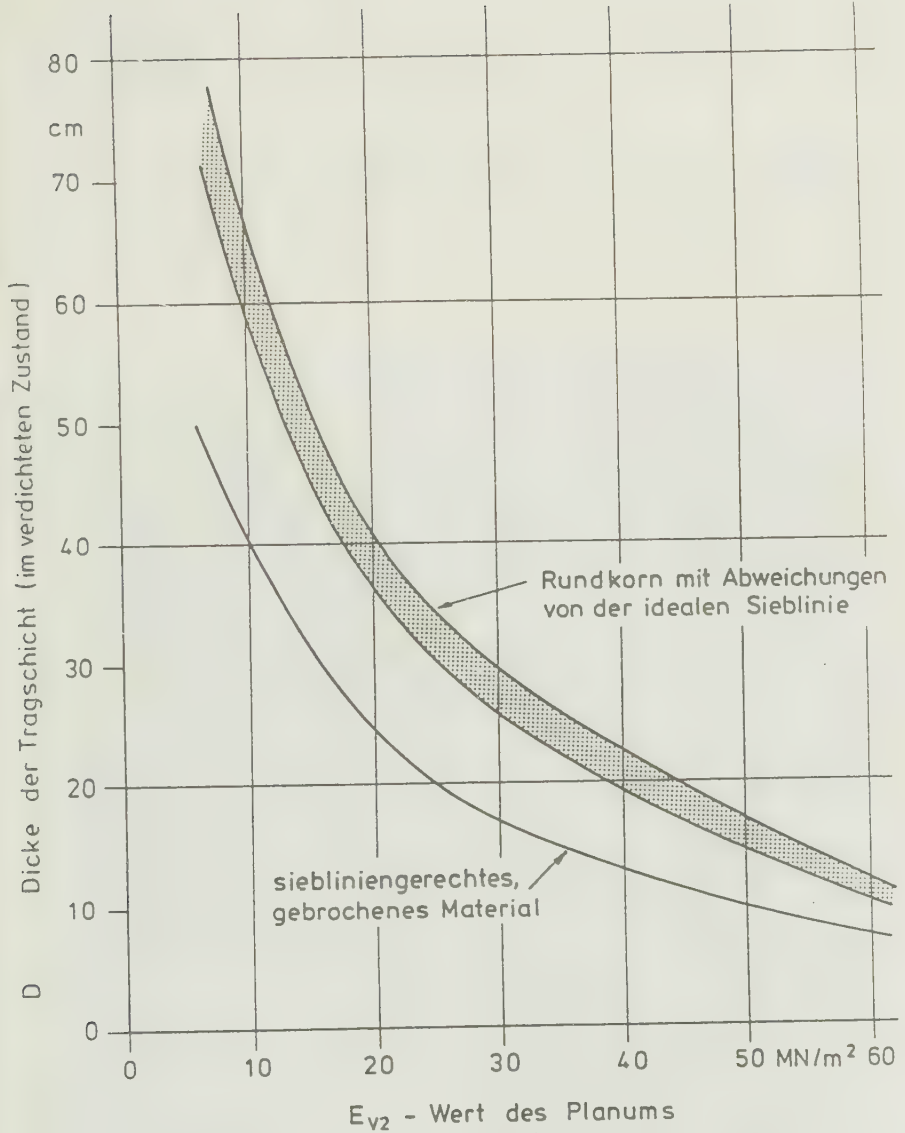
Landkreis, Forstamt

- 1) Vorbereiten der Trasse: Stockrodung Stück á DM DM
 oder bodengleiches Tieferscheiden von Stöck-
 ken, sofern nicht in 2) einbezogen Stück á DM DM
- 2) Herstellen der Rohplanie einschl. Aus- 1674 7,-- 11718,--
 weichstellen und Böschungen lfm á DM DM
 Verdichten des Rohplanums 2385,--
 3) Sprengen von Fels cbm á DM DM
- 4) Verlegen lastenverteilender Unter- 1674 2,-- 3348,--
 lagen (Daxen, Prügel, Flies u.dgl.) lfm á DM DM
- 5) Liefern, Laden, Transport u. Einbau = 2,3 cbm/lfm
 des Tragschichtmaterials (einschl. Barkette) 3850 12,74 49049,--
 cbm á DM DM
- 6) Profilieren u. Verdichten der Trag- 1674 2,50 4185,--
 schicht lfm á DM DM
- 7) Aufbringen einer Verschleißdecke = 0,4 cbm/lfm
 (Feinkies, Splitt etc.) soweit 670 15,34 10272,--
 erforderlich cbm á DM DM
- 8) Entwässerung; Einbau von Rohrdurch-
 lässen bis 1 m lichte Weite einschl. Ankauf u. Anfuhr d. Rohre ++)
 Ø 40 cm, 18 Stück = 144 lfm á 69,20 9965,--
 Ø 60 cm, 1 Stück = ... lfm á 105,40 949,20
 Ø 80 cm, 2 Stück = ... lfm á 156,40 3128,00
 Ø cm, ... Stück = ... lfm á DM DM
 Ø cm, ... Stück = ... lfm á DM DM
 Ø cm, ... Stück = ... lfm á DM DM
 Einbau 4613,--
 9) Herstellen von Seitengräben lfm á DM DM
- 10) Kunstbauten (Brücken, Durchlässe über 100 cm Ø,
 Stützmauern etc.) lfm á DM DM
 lfm á DM DM
 lfm á DM DM
- 11) Böschungsbegrünungen qm á DM DM
- 12) Kosten für die Projektierung (FoGebO i.d.F.
 v. 04.04.85 GVBl Nr. 7/1985) 1674 1,30 2176,--
 lfm á DM DM
- 13) Wegstreckenentschädigung für Bauaufsicht
 (s. § 3 FoGebO u. Fundstellen bei 4000 0,43 1720,--
 Nr. 12) km á DM DM
- 14) Sonstige u. unwahrgesehene Kosten DM DM
 (z.B. Verm. Kosten, vgl. RdOFoS
 v. 8.10.84 Az. NW 265-96) DM DM

Kosten je lfm 61,82 Summa Baukosten ohne MwSt. 103508,--
 DM DM+) Transportkostenberechnung i.d.R. nach Tarif B des Landes-
 sondertarifs schüttbare Güter in der jeweils gültigen
 Fassung (sh. Rückseite)technisch geprüft
 München, den

++) Transportkostenberechnung nach GNT

Oberforstdirektion München



Dimensionierung der Tragschicht
für Bauklasse V

(E_{v2} Fahrbahn $\approx 80 \text{ MN/m}^2$)

Grundtabelle für die lineare Optimierung mit Angebots-
und Nachfragemengen

Part A. Net supply volume (m³).

Supply area	Peg No.	Mid-segment station	Net supply (m ³)
01	60- 90	75	146.5
02	90- 120	105	216.0
03	120- 150	135	217.4
04	150- 180	165	223.7
05	180- 210	195	152.4
06	210- 240	225	174.8
07	240- 270	255	203.5
08	270- 300	285	132.0
09	390- 420	405	105.9
10	420- 450	435	104.9
11	450- 480	465	98.1
12	480- 510	495	80.1
13	510- 540	525	132.0
14	600- 630	615	64.6
15	630- 660	645	90.8
16	660- 690	675	90.5
17	720- 750	735	16.9
18	780- 810	795	9.2
19	840- 870	855	26.4
20	870- 900	885	97.6
21	930- 960	945	45.4
22	960- 990	975	70.7
23	990-1020	1005	57.9
24	1110-1140	1125	426.7
25	1140-1170	1155	143.0
26	1170-1200	1185	23.3
27	1260-1290	1275	64.5
28	1290-1300	1295	6.6
Total net supply volume (m ³)			3221.1

Part B. Net demand volume (m³).

Demand area	Peg No.	Mid-segment station	Net demand (m ³)
01	0- 30	15	18.6
02	30- 60	45	26.9
03	300- 330	315	74.5
04	330- 360	345	711.5
05	360- 390	375	9.9
06	540- 570	555	3.7
07	570- 600	585	70.9
08	690- 720	705	13.0
09	750- 780	765	13.9
10	810- 840	825	21.6
11	900- 930	915	44.5
12	1020-1050	1035	40.4
13	1050-1080	1065	198.8
14	1080-1110	1095	41.0
15	1200-1230	1215	5.4
16	1230-1260	1245	20.7
Total net demand volume (m ³)			715.3

Eingangsmatrix für das Transportproblem

Supply areas	Demand areas																	Shells ord. (m³)	Total supply (m³)
	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16			
S01	66 (14.9)	30 (20.9)															0 (101.9)	148.3	
S02	0	0	210	240	270	450											0 (210.9)	210.9	
S03	120	0	100	210	240	420											0 (217.9)	217.9	
S04	150	120	150	180	210	300											0 (220.9)	220.9	
S05	160	150	120	150	180	300											0 (232.9)	232.9	
S06	210	180	0	120	150	230	240										0 (174.9)	174.9	
S07	240	210	0	0	120	300	300										0 (200.9)	200.9	
S08	270	240	30 (71.9)	60 (5.9)	0	270	300										0 (51.9)	130.9	
S09	300	240	0	0	30 (40.9)	150	180										0	100.9	
S10	420	390	120	0	60 (5.9)	120	240										0 (50.9)	304.9	
S11	450	420	150	120	90	0	210										0 (50.9)	60.9	
S12			100	120	150	0	0	210									0 (50.9)	60.9	
S13			240	210	180	30 (4.9)	0	120	240								0 (20.9)	130.9	
S14			270	240	270	0	60 (4.9)	0	120	180	270	390	420				0 (4.9)	90.9	
S15			300	230	300	120	0	20 (12.0)	0	150	240	300	390				0 (77.9)	80.9	
S16			420	390	300	180	150	20 (4.9)	0	180	300	230	480				0 (3.9)	16.9	
S17			450	420	210	210	0	30 (4.9)	0	120	240	270	300				0	0.2	
S18			510	480	300	270	150	0	20 (12.9)	0	180	210	240				0 (14.9)	28.4	
S19				510	230	300	180	120	0	20 (4.9)	150	180	210	230			0 (5.9)	97.9	
S20				270	240	300	210	180	120	30	0	120	150	270			0 (45.9)	60.9	
S21					450	390	270	150	0	0	0	0	120	240			0 (70.9)	70.9	
S22					450	420	300	210	180	0	20 (4.9)	0	0	210			0	97.9	
S23					270	240	480	300	300	210	0	0	30	0	120		0	204.4	
S24						270	450	390	230	240	120	0	0	0	0		0 (13.9)	143.0	
S25						300	400	420	300	270	150	120	0	30	0		0 (17.9)	23.2	
S26							270	310	450	300	240	210	180	0	20 (5.9)		0 (45.9)	64.5	
S27								530	470	300	200	230	200	0	20 (5.9)		0 (4.9)	0.6	
S28																			
Total Demand (m³)	16.6	36.0	74.5	111.5	9.0	2.7	70.0	13.0	113.0	36.2	64.5	60.0	120.0	41.0	5.4	30.7	2005.0	3222.1	

Prüfung der Optimalitätsbedingungen

Supply areas	Demand areas																Stock and (m³)	Total capacity (m³)	w _i
	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16			
S01	60 (18.8)	30 (9.2)	219 +210	278	300	188											8 (129.0)	148.5	-0
S02	90	60	216 +120	218	278	136											8 (218.0)	218.0	-0
S03	120	90	180 +120	216	218	120											8 (217.4)	217.4	-0
S04	150	180 +120	150 +120	218	218	340											8 (223.7)	223.7	-0
S05	180	150 +120	180 +120	150	180	340											8 (152.4)	152.4	-0
S06	219	180 +120	90 +120	150 +120	230	340											8 (174.8)	174.8	-0
S07	249	219 +120	60 +120	90 +120	300	338											8 (200.3)	200.3	-0
S08	278	249 +120	90 (1.5)	60 (2.8)	278	300											8 (200.3)	200.3	-0
S09	300	300	90 +120	60 (0.2)	150 +120	188											8 (200.3)	200.3	-0
S10	480	300	120 +120	90 +120	120	218											8 (15.8)	104.8	-0
S11	490	430	150 +120	120 +120	90 +120	218											8 (88.1)	88.1	-0
S12			100 +120	130 +120	60 +120	98	218										8 (90.5)	90.5	-0
S13			218	180 +120	30 (1.7)	60 +120	180 +120	249									8 (128.3)	132.0	-0
S14			218	218	180 +120	60 +120	30 (4.1)	90 +120	150	218	300						8	84.8	-30
S15			230	300	278 +120	90 +120	98 +120	120 +120	180 +120	278	340	480					8 (34.5)	80.8	-0
S16			249	330	300 +120	120 +120	90 +120	30 (1.2)	90 +120	150	218	248	280				8 (7.5)	90.5	-0
S17			420	390	340 +120	180 +120	20 +120	30 (1.3)	90 +120	180 +120	300	330	490				8 (3.2)	18.9	-0
S18			450	420	218 +120	218 +120	60 +120	30 +120	90 +120	248	270	300					8	9.2	-0
S19				510	480	300	278	150 +120	90 +120	180 +120	210	210					8 (14.0)	26.4	-0
S20				510	330	300	180	120 +120	60 +120	30 (1.3)	150 +120	180 +120	210	330			8 (53.1)	97.8	-0
S21				570	390	340	249	180 +120	120 +120	30 +120	90 +120	120	150	270			8 (15.4)	45.4	-0
S22				480	390	278	150 +120	90 +120	30 +120	90 +120	180 +120	120	150	210			8 (10.7)	70.7	-0
S23				450	420	300	218	180 +120	60 +120	30 (4.4)	90 +120	90 +120	210				8 (17.2)	73.2	-0
S24				570	510	420	340	300 +120	210 +120	90 +120	30 (81.3)	90 +120	120				8 (504.4)	426.7	-0
S25					570	450	390	330	210 +120	90 +120	60 +120	60 +120	90				8 (143.8)	143.8	-0
S26					600	480	420	340	270 +120	150 +120	120 +120	90 +120	90 +120				8 (5.4)	73.3	-0
S27					570	510	450	340	210 +120	210 +120	180 +120	60 +120	30 +120				8 (13.8)	84.3	-0
S28						530	470	340	260 +120	230 +120	200 +120	60 +120	30 +120				8 (8.8)	8.8	-0
Total Demand (m³)	18.8	36.8	74.5	111.3	9.8	3.7	70.9	13.9	13.9	21.8	44.5	60.4	196.8	41.8	5.4	30.7	2505.8	3221.1	
w _i	-0	+30	+30	+60	+60	+30	-0	+30	+30	+30	+30	+30	+60	+30	+30	+30	-0		

Optimale Lösung

Supply areas	Demand areas																Stack vol. (m ³)	Total supply (m ³)	m
	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16			
S01	02 (18.8)	30 (28.9)	218 +22.9	278	300	480											8 (91.0)	148.3	+0
S02	00 +30	00 +30	218 +180	218	278	450											8 (718.0)	218.0	+0
S03	120	00 +80	180 +120	218 +120	218	420											8 (717.8)	217.4	+0
S04	130	120 +80	158 +180	180 +180	218	390											8 (221.7)	222.7	+0
S05	100	150 +180	180 +80	150 +80	180	380											8 (152.4)	152.4	+0
S06	218	180 +120	00 +80	-80 +120	150 +120	330	240										8 (174.8)	174.8	+0
S07	218	218 +180	00 +30	00 +30	120 +80	300	330										8 (273.3)	273.3	+0
S08	278	218	30 (11.3)	60 (15.3)	00	278	300										8 (12.0)	132.0	+0
S09	390	380	00 +80	00 (95.0)	30 (9.8)	150 +120	180										8	105.9	+0
S10	420	390	180 +80	00 +30	64 +30	120 +80	210										8 (104.9)	104.9	+0
S11	650	630	190 +180	120 +80	00 +80	210											8 (98.1)	98.1	+0
S12			100 +120	150 +80	180 +80	30	00	218									8 (92.1)	80.1	+0
S13			218 +180	180 +180	150 +120	30 (3.7)	00 +80	180 +120	210								8 (128.3)	132.0	+0
S14			218	218	00 +180	00 +80	30 (14.8)	00 +80	150	210	300						8	64.8	-30
S15			330	300	278 +180	00 +80	00 (1.8)	120 +80	180	278	380	420					8 (41.2)	90.2	+0
S16			360	330	300 +270	120 +80	00 (13.0)	00 +80	150	210	360	390					8 (77.3)	80.3	+0
S17			420	390	360 +320	180 +120	30 +80	00 (13.8)	00 +120	180	300	330	400				8 (2)	18.8	+0
S18			400	428	318 +120	218 +80	00 +80	30 (2.2)	330 +80	218	278	300					8	9.2	+0
S19			510	480	300 +120	278 +180	00 +80	00 (17.2)	00 +120	218	300	360					8 (14.0)	28.4	+0
S20				510	330	300 +80	180 +80	120 +30	150 +180	180	210	330					8 (55.1)	97.8	+0
S21				570	380	360 +180	210 +120	180 +80	30 +80	120 +80	150	270					8 (45.5)	45.4	+0
S22				620	390	278 +180	150 +30	00 +80	00 +30	00 +30	120	210					8 (59.7)	70.7	+0
S23				658	420	300 +180	218 +80	180 +120	00 +80	30 (10.1)	00 (17.3)	00 +80	210				8	57.5	+0
S24				570	348	420 +180	360 +120	300 +80	210 +80	00 +80	00 (61.3)	00 +80	320				8 (204.4)	428.7	+0
S25					570	150 +180	390 +30	330 +80	120 +80		00 +80	00 +30	00 +30	00 +80			8 (143.0)	143.0	+0
S26				000	400	420	360	278	150	120 +80	00 +80	30 +80	00 +80	30 +80	00 +80		8 (17.8)	23.3	+0
S27					570	318	450	360	218	218	180 +120	00 +30	30 +80	30 +80	30 +80		8 (13.9)	84.5	+0
S28																	8 (4.5)	8.8	+0
Total Demand	18.8	28.8	74.5	111.5	0.0	3.7	70.9	13.8	13.9	21.8	44.8	40.4	188.8	41.8	9.4	30.7	2505.8	3221.1	
m ₁	+80	+30	+30	+80	+30	+30	+80	+30	+30	+30	+30	+30	+80	+30	+30	+30	+0		

R O T E Z A H L

PUNKT.-NR.	STAT. LÄNGE	GELÄNDEHÖHE	STRASSENHÖHE	ROTE ZAHL
1	2	3	4	5
1	0.00	771.00	771.00	0.00
2	13.96	771.32	771.53	.21
3	20.00	771.84	771.79	-.05
4	32.68	772.81	772.29	-.52
5	39.91	772.78	772.52	-.26
6	47.13	772.78	772.79	.01
7	60.00	772.95	773.33	.38
8	61.15	773.00	773.42	.42
9	70.03	773.78	773.92	.14
10	78.90	774.60	774.70	.10
11	100.00	776.96	776.74	-.22
12	106.46	777.70	777.39	-.31
13	113.31	778.22	778.08	-.14
14	120.16	778.92	778.81	-.11
15	140.00	780.59	780.41	.18
16	160.00	782.71	782.45	-.26
17	163.25	783.10	782.70	-.40
18	174.34	783.77	783.30	-.47
19	180.00	784.02	783.50	-.52
20	185.42	784.10	783.78	-.32
21	192.92	784.28	784.08	-.20
22	200.00	784.58	784.37	-.21
23	202.53	784.60	784.42	-.18
24	212.14	784.39	784.79	.40
25	220.00	784.66	785.12	.46
26	233.71	785.43	785.75	.32
27	238.40	785.76	786.07	.31
28	243.08	786.31	786.42	.11
29	260.85	788.14	788.02	-.12
30	273.81	789.29	789.32	.03
31	280.00	790.05	789.97	-.08
32	286.77	790.75	790.71	-.04
33	300.10	791.86	792.05	.19
34	308.53	792.88	792.90	.02
35	316.96	793.81	793.72	.09
36	336.59	795.50	795.77	.27
37	345.47	796.43	796.68	.25
38	354.35	797.82	797.60	-.22
39	360.00	798.60	798.18	-.42
40	380.00	800.07	800.27	.20
41	383.19	800.32	800.62	.30
42	386.91	800.75	801.00	.25
43	390.63	801.41	801.36	-.05
44	400.00	802.47	802.21	-.26
45	401.37	802.49	802.35	-.14
46	413.54	802.81	803.13	.32
47	420.00	803.54	803.52	-.02
48	425.70	803.85	803.81	-.04
49	440.00	804.39	804.62	.23
50	455.50	805.33	805.47	.14

ROTE ZAHL

PUNKT.-NR.	STAT. LÄNGE	GELÄNDEHÖHE	STRASSENHÖHE	ROTE ZAHL
------------	-------------	-------------	--------------	-----------

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

51	460.00	805.77	805.82	.05
52	468.96	807.04	806.59	.45
53	480.00	807.92	807.68	-.24
54	482.41	808.14	807.94	-.20
55	500.00	809.78	809.96	.18
56	501.93	809.84	810.28	.44
57	510.00	810.56	811.10	.54
58	518.43	812.19	811.99	-.20
59	530.00	813.75	813.14	-.61
60	534.92	813.80	813.51	-.29
61	539.95	813.58	813.81	.23
62	550.00	814.10	814.49	.39
63	555.90	814.35	814.84	.49
64	560.00	814.70	815.06	.36
65	571.85	815.82	815.74	-.08
66	590.00	817.03	816.81	-.22
67	593.80	817.46	817.08	-.38
68	600.00	817.90	817.69	-.21
69	606.39	818.37	818.36	-.01
70	610.00	818.60	818.71	.11
71	618.97	819.54	819.75	.21
72	630.00	820.70	820.99	.29
73	633.50	821.14	821.39	.25
74	640.00	822.15	822.14	-.01
75	648.10	823.23	823.13	-.10
76	655.00	824.04	823.75	-.29
77	662.70	824.81	824.36	-.45
78	670.00	825.36	824.86	-.50
79	674.25	825.23	825.08	-.15
80	680.00	825.49	825.47	-.02
81	687.43	825.69	825.67	-.02
82	690.00	825.92	825.68	-.24
83	700.60	826.48	826.01	-.47
84	710.00	826.88	826.25	-.63
85	720.00	825.71	826.36	.65
86	730.00	825.51	826.41	.90
87	740.00	826.41	826.38	-.03
88	750.00	826.42	826.39	-.03
89	755.42	826.47	826.36	-.11
90	765.66	826.54	826.36	-.18
91	770.00	826.45	826.35	-.10
92	775.89	826.16	826.33	.17
93	790.00	826.66	826.27	-.39
94	793.56	826.45	826.25	-.20
95	800.33	825.98	826.18	.20
96	807.09	826.23	826.11	-.12
97	810.00	826.42	826.02	-.40
98	822.59	825.66	825.68	.02
99	829.73	825.15	825.48	.33
100	836.86	824.97	825.39	.42

R O T E Z A H L =====

PUNKT.-NR.	STAT. LÄNGE	GELÄNDEHÖHE	STRASSENHÖHE	ROTE ZAHL
1	2	3	4	5
101	850.00	824.82	824.92	.10
102	858.53	824.66	824.68	.02
103	870.00	824.28	824.43	.15
104	876.33	824.31	824.31	0.00
105	890.00	824.61	824.58	-.53
106	894.13	824.53	824.13	-.40
107	910.00	823.88	824.02	.14
108	925.33	823.59	823.88	.29
109	930.00	823.72	823.83	.11
110	937.89	823.53	823.81	.28
111	950.46	823.95	823.92	-.03
112	967.36	824.85	824.62	-.23
113	978.74	825.45	825.46	.01
114	990.12	826.01	826.33	.32
115	1000.00	826.90	826.91	.01

GEGENÜBERSTELLUNG - R O T E Z A H L

Anlage 4b

=====

PUNKT.-NR.	STAT._LÄNGE	ROTE ZAHL (MANUELL)	ROTE ZAHL (RECHNER)	DIFFERENZ (3)-(4)
1	2	3	4	5
1	0.00	0.00	0.00	0.00
2	13.96	.21	.21	0.00
3	20.00	-.05	-.05	0.00
4	32.68	-.56	-.52	-.04
5	39.91	-.29	-.26	-.03
6	47.13	0.00	.01	-.01
7	60.00	.35	.38	-.03
8	61.15	.39	.42	-.03
9	70.03	.13	.14	-.01
10	78.90	.09	.10	-.01
11	100.00	-.26	-.22	-.04
12	106.46	-.35	-.31	-.04
13	113.31	-.17	-.14	-.03
14	120.16	-.14	-.11	-.03
15	140.00	.16	.18	-.02
16	160.00	-.26	-.26	0.00
17	163.25	-.40	-.40	0.00
18	174.34	-.47	-.47	0.00
19	180.00	-.52	-.52	0.00
20	185.42	-.32	-.32	0.00
21	192.92	-.26	-.20	-.06
22	200.00	-.28	-.21	-.07
23	202.53	-.20	-.18	-.02
24	212.14	.39	.40	-.01
25	220.00	.44	.46	-.02
26	233.71	.30	.32	-.02
27	238.40	.29	.31	-.02
28	243.08	.09	.11	-.02
29	260.85	-.14	-.12	-.02
30	273.81	0.00	.03	-.03
31	280.00	-.10	-.08	-.02
32	286.77	-.07	-.04	-.03
33	300.10	.16	.19	-.03
34	308.53	0.00	.02	-.02
35	316.96	.11	.09	.02
36	336.59	.24	.27	-.03
37	345.47	.22	.25	-.03
38	354.35	-.24	-.22	-.02
39	360.00	-.44	-.42	-.02
40	380.00	.18	.20	-.02
41	383.19	.28	.30	-.02
42	386.91	.23	.25	-.02
43	390.63	-.06	-.05	-.01
44	400.00	-.27	-.26	-.01
45	401.37	-.15	-.14	-.01
46	413.54	.30	.32	-.02
47	420.00	-.05	-.02	-.03
48	425.70	-.06	-.04	-.02
49	440.00	.21	.23	-.02
50	455.50	.12	.14	-.02

GEGENÜBERSTELLUNG - R O T E Z A H L

=====

PUNKT.-NR.	STAT._LÄNGE	ROTE ZAHL (MANUELL)	ROTE ZAHL (RECHNER)	DIFFERENZ (3)-(4)
1	2	3	4	5
51	460.00	.03	.05	-.02
52	468.96	.47	.45	.02
53	480.00	-.22	-.24	.02
54	482.41	-.18	-.20	.02
55	500.00	.16	.18	-.02
56	501.93	.41	.44	-.03
57	510.00	.50	.54	-.04
58	518.43	-.24	-.20	-.04
59	530.00	-.65	-.61	-.04
60	534.92	-.32	-.29	-.03
61	539.95	.22	.23	-.01
62	550.00	.36	.39	-.03
63	555.90	.45	.49	-.04
64	560.00	.32	.36	-.04
65	571.85	-.12	-.08	-.04
66	590.00	-.21	-.22	.01
67	593.80	-.36	-.38	.02
68	600.00	-.20	-.21	.01
69	606.39	0.00	-.01	.01
70	610.00	.12	.11	.01
71	618.97	.22	.21	.01
72	630.00	.30	.29	.01
73	633.50	.26	.25	.01
74	640.00	0.00	-.01	.01
75	648.10	-.15	-.10	-.05
76	655.00	-.24	-.29	.05
77	662.70	-.41	-.45	.04
78	670.00	-.46	-.50	.04
79	674.25	-.10	-.15	.05
80	680.00	0.00	-.02	.02
81	687.43	0.00	-.02	.02
82	690.00	-.22	-.24	.02
83	700.60	-.50	-.47	-.03
84	710.00	-.66	-.63	-.03
85	720.00	.69	.65	.04
86	730.00	.94	.90	.04
87	740.00	0.00	-.03	.03
88	750.00	0.00	-.03	.03
89	755.42	-.12	-.11	-.01
90	765.66	-.22	-.18	-.04
91	770.00	-.15	-.10	-.05
92	775.89	.13	.17	-.04
93	790.00	-.44	-.39	-.05
94	793.56	-.25	-.20	-.05
95	800.33	.17	.20	-.03
96	807.09	-.14	-.12	-.02
97	810.00	-.42	-.40	-.02
98	822.59	0.00	.02	-.02
99	829.73	.31	.33	-.02
100	836.86	.40	.42	-.02

GEGENÜBERSTELLUNG -- R O T E Z A H L
=====

PUNKT.-NR.	STAT._LÄNGE	ROTE ZAHL (MANUELL)	ROTE ZAHL (RECHNER)	DIFFERENZ (3)-(4)
1	2	3	4	5
101	850.00	.08	.10	-.02
102	858.53	0.00	.02	-.02
103	870.00	.12	.15	-.03
104	876.33	-.01	0.00	-.01
105	890.00	-.50	-.53	.03
106	894.13	-.43	-.40	-.03
107	910.00	.12	.14	-.02
108	925.33	.27	.29	-.02
109	930.00	.10	.11	-.01
110	937.89	.26	.28	-.02
111	950.46	-.05	-.03	-.02
112	967.36	-.25	-.23	-.02
113	978.74	0.00	.01	-.01
114	990.12	.31	.32	-.01
115	1000.00	0.00	.01	-.01

Anlage 5a

MASSENBERECHNUNG

=====

NR.	STAT.-LÄNGE (m)	ABTRAG (m³)	AUFTRAG (m³)	VERWENDUNG IM PROFIL (m³)	ÜBERSCHUSS (m³)	DEFIZIT (m³)	MITTLERE STAT.- LÄNGE (m)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.00						
2	13.96	0.00	12.16	0.00	0.00	12.16	6.98
3	20.00	.97	4.91	.97	0.00	3.94	16.98
4	32.68	20.92	0.00	0.00	20.92	0.00	26.34
5	39.91	16.20	0.00	0.00	16.20	0.00	36.30
6	47.13	5.41	.70	.70	4.71	0.00	43.52
7	60.00	0.00	12.97	0.00	0.00	12.97	53.56
8	61.15	0.00	2.75	0.00	0.00	2.75	60.58
9	70.03	0.00	17.66	0.00	0.00	17.66	65.59
10	78.90	0.00	8.48	0.00	0.00	8.48	74.47
11	100.00	10.44	9.74	9.74	.71	0.00	89.45
12	106.46	7.69	.08	.08	7.60	0.00	103.23
13	113.31	6.99	.09	.09	6.90	0.00	109.89
14	120.16	4.38	.22	.22	4.16	0.00	116.74
15	140.00	6.25	8.12	6.25	0.00	1.87	130.08
16	160.00	20.20	7.80	7.80	12.40	0.00	150.00
17	163.25	7.96	.02	.02	7.94	0.00	161.62
18	174.34	31.94	.07	.07	31.87	0.00	168.80
19	180.00	17.40	0.00	0.00	17.40	0.00	177.17
20	185.42	14.28	0.00	0.00	14.28	0.00	182.71
21	192.92	12.07	0.00	0.00	12.07	0.00	189.17
22	200.00	9.59	0.00	0.00	9.59	0.00	196.46
23	202.53	3.26	0.00	0.00	3.26	0.00	201.27
24	212.14	5.24	11.31	5.24	0.00	6.07	207.34
25	220.00	0.00	20.95	0.00	0.00	20.95	216.07
26	233.71	0.00	33.69	0.00	0.00	33.69	226.86

MASSENBERECHNUNG

=====

NR.	STAT.-LÄNGE	ABTRAG	AUFTRAG	VERWENDUNG IM PROFIL	ÜBERSCHUSS	DEFIZIT	MITTLERE STAT.- LÄNGE
	(m)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m)
1	2	3	4	5	6	7	8
26	233.71						
		0.00	8.38	0.00	0.00	8.38	236.06
27	238.40						
		0.00	4.72	0.00	0.00	4.72	240.74
28	243.08						
		7.02	3.47	3.47	3.55	0.00	251.97
29	260.85						
		5.12	.25	.25	4.87	0.00	267.33
30	273.81						
		2.48	.12	.12	2.36	0.00	276.90
31	280.00						
		6.03	1.32	1.32	4.71	0.00	283.38
32	286.77						
		9.26	9.27	9.26	0.00	.01	293.44
33	300.10						
		4.68	5.97	4.68	0.00	1.29	304.32
34	308.53						
		6.79	2.47	2.47	4.32	0.00	312.74
35	316.96						
		9.72	26.16	9.72	0.00	16.44	326.78
36	336.59						
		.84	23.09	.84	0.00	22.24	341.03
37	345.47						
		7.50	19.16	7.50	0.00	11.66	349.91
38	354.35						
		11.58	4.85	4.85	6.73	0.00	357.18
39	360.00						
		28.50	23.14	23.14	5.36	0.00	370.00
40	380.00						
		1.50	8.05	1.50	0.00	6.55	381.60
41	383.19						
		2.34	9.94	2.34	0.00	7.59	385.05
42	386.91						
		3.40	6.17	3.40	0.00	2.76	388.77
43	390.63						
		12.42	6.94	6.94	5.47	0.00	395.32
44	400.00						
		2.16	1.13	1.13	1.03	0.00	400.69
45	401.37						
		12.35	20.57	12.35	0.00	8.21	407.46
46	413.54						
		4.65	9.28	4.65	0.00	4.63	416.77
47	420.00						
		6.04	2.19	2.19	3.86	0.00	422.85
48	425.70						
		7.36	13.38	7.36	0.00	6.02	432.85
49	440.00						
		0.00	20.15	0.00	0.00	20.15	447.75
50	455.50						
		.11	3.36	.11	0.00	3.25	457.75
51	460.00						
		9.32	2.15	2.15	7.16	0.00	464.48
52	468.96						

MASSENBERECHNUNG

NR.	STAT.-LÄNGE (m)	ABTRAG (m³)	AUFTRAG (m³)	VERWENDUNG IM PROFIL (m³)	ÜBERSCHUSS (m³)	DEFIZIT (m³)	MITTLERE STAT.- LÄNGE (m)
1	2	3	4	5	6	7	8
52	468.96						
53	480.00	19.93	.65	.65	19.28	0.00	474.48
54	482.41	3.60	.78	.78	2.82	0.00	481.21
55	500.00	13.90	16.69	13.90	0.00	2.80	491.21
56	501.93	.16	4.32	.16	0.00	4.15	500.96
57	510.00	0.00	27.85	0.00	0.00	27.85	505.96
58	518.43	7.12	17.48	7.12	0.00	10.36	514.22
59	530.00	31.59	2.03	2.03	29.56	0.00	524.22
60	534.92	13.16	.29	.29	12.87	0.00	532.46
61	539.95	4.80	5.56	4.80	0.00	.75	537.44
62	550.00	1.66	22.47	1.66	0.00	20.81	544.97
63	555.90	0.00	15.34	0.00	0.00	15.34	552.95
64	560.00	0.00	10.02	0.00	0.00	10.02	557.95
65	571.85	4.86	12.32	4.86	0.00	7.47	565.93
66	590.00	15.61	.12	.12	15.49	0.00	580.92
67	593.80	5.62	0.00	0.00	5.62	0.00	591.90
68	600.00	8.96	0.00	0.00	8.96	0.00	596.90
69	606.39	2.65	.91	.91	1.74	0.00	603.20
70	610.00	0.00	2.25	0.00	0.00	2.25	608.20
71	618.97	0.00	13.47	0.00	0.00	13.47	614.49
72	630.00	0.00	20.50	0.00	0.00	20.50	624.49
73	633.50	0.00	6.57	0.00	0.00	6.57	631.75
74	640.00	.10	8.75	.10	0.00	8.65	636.75
75	648.10	2.51	2.47	2.47	.04	0.00	644.05
76	655.00	6.55	0.00	0.00	6.55	0.00	651.55
77	662.70	16.29	0.00	0.00	16.29	0.00	658.85
78	670.00	19.09	0.00	0.00	19.09	0.00	666.35

M A S S E N B E R E C H N U N G

=====

NR.	STAT.-LÄNGE	ABTRAG	AUFTRAG	VERWENDUNG IM PROFIL	ÜBERSCHUSS	DEFIZIT	MITTLERE STAT.- LÄNGE
	(m)	(m^3)	(m^3)	(m^3)	(m^3)	(m^3)	(m)
1	2	3	4	5	6	7	8
78	670.00						
		7.86	.17	.17	7.70	0.00	672.12
79	674.25						
		8.45	2.69	2.69	5.76	0.00	677.12
80	680.00						
		10.14	6.37	6.37	3.77	0.00	683.72
81	687.43						
		4.38	1.42	1.42	2.96	0.00	688.72
82	690.00						
		32.33	5.03	5.03	27.30	0.00	695.30
83	700.60						
		34.69	3.97	3.97	30.71	0.00	705.30
84	710.00						
		17.55	20.67	17.55	0.00	3.12	715.00
85	720.00						
		0.00	62.01	0.00	0.00	62.01	725.00
86	730.00						
		5.55	51.02	5.55	0.00	45.47	735.00
87	740.00						
		9.65	14.89	9.65	0.00	5.23	745.00
88	750.00						
		7.07	4.65	4.65	2.42	0.00	752.71
89	755.42						
		17.31	6.26	6.26	11.05	0.00	760.54
90	765.66						
		6.64	2.09	2.09	4.55	0.00	767.83
91	770.00						
		6.01	3.83	3.83	2.18	0.00	772.95
92	775.89						
		18.77	7.25	7.25	11.52	0.00	782.95
93	790.00						
		5.80	.30	.30	5.50	0.00	791.78
94	793.56						
		5.75	7.66	5.75	0.00	1.90	796.95
95	800.33						
		6.05	9.01	6.05	0.00	2.96	803.71
96	807.09						
		4.79	1.38	1.38	3.41	0.00	808.55
97	810.00						
		18.82	8.18	8.18	10.64	0.00	816.30
98	822.59						
		4.28	13.23	4.28	0.00	8.94	826.16
99	829.73						
		1.28	23.22	1.28	0.00	21.94	833.30
100	836.86						
		4.66	34.85	4.66	0.00	30.18	843.43
101	850.00						
		6.23	12.92	6.23	0.00	6.69	854.27
102	858.53						
		11.53	20.13	11.53	0.00	8.60	864.27
103	870.00						
		6.93	11.89	6.93	0.00	4.96	873.16
104	876.33						

M A S S E N B E R E C H N U N G =====

NR.	STAT.-LÄNGE (m)	ABTRAG (m³)	AUFTRAG (m³)	VERWENDUNG IM PROFIL (m³)	ÜBERSCHUSS (m³)	DEFIZIT (m³)	MITTLERE STAT.- LÄNGE (m)
1	2	3	4	5	6	7	8
104	876.33						
		31.30	12.35	12.35	18.95	0.00	883.16
105	890.00						
		14.43	.56	.56	13.87	0.00	892.07
106	894.13						
		35.23	12.17	12.17	23.06	0.00	902.07
107	910.00						
		12.65	37.17	12.65	0.00	24.52	917.66
108	925.33						
		3.85	14.02	3.85	0.00	10.17	927.66
109	930.00						
		6.59	22.87	6.59	0.00	16.28	933.95
110	937.89						
		13.51	29.74	13.51	0.00	16.23	944.18
111	950.46						
		39.97	17.58	17.58	22.39	0.00	958.91
112	967.36						
		26.34	12.06	12.06	14.29	0.00	973.05
113	978.74						
		11.27	23.23	11.27	0.00	11.96	984.43
114	990.12						
		8.20	17.40	8.20	0.00	9.20	995.06
115	1000.00						
		11.84	24.41	11.84	0.00	12.57	1004.82
116	1009.63						

GEGENÜBERSTELLUNG - MASSENBERECHNUNG

=====

PKT.-NR.	ABTRAG (MANUELL)	ABTRAG (RECHNER)	AUFTRAG (MANUELL)	AUFTRAG (RECHNER)	DIFF.ABTRAG (2)-(3)	DIFF.AUFTRAG (4)-(5)
1	2	3	4	5	6	7
1	0.00	0.00	11.98	12.16	0.00	-.18
2	1.03	.97	4.79	4.91	.06	-.12
3	21.43	20.92	0.00	0.00	.51	0.00
4	16.56	16.20	0.00	0.00	.36	0.00
5	6.63	5.41	.66	.70	1.22	-.04
6	.06	0.00	12.55	12.97	.06	-.42
7	0.00	0.00	2.68	2.75	0.00	-.07
8	0.00	0.00	17.32	17.66	0.00	-.34
9	.09	0.00	8.30	8.48	.09	-.18
10	11.39	10.44	9.33	9.74	.95	-.41
11	8.08	7.69	0.00	.08	.39	-.08
12	7.33	6.99	0.00	.09	.34	-.09
13	4.69	4.38	0.00	.22	.31	-.22
14	6.84	6.25	7.22	8.12	.59	-.90
15	20.30	20.20	7.28	7.80	.10	-.52
16	7.98	7.96	.02	.02	.02	-0.00
17	31.99	31.94	.07	.07	.05	-0.00
18	17.52	17.40	0.00	0.00	.12	0.00
19	14.34	14.28	0.00	0.00	.06	0.00
20	12.34	12.07	0.00	0.00	.27	0.00
21	10.23	9.59	0.00	0.00	.64	0.00
22	3.43	3.26	0.00	0.00	.17	0.00
23	5.43	5.24	10.93	11.31	.19	-.38
24	0.00	0.00	20.38	20.95	0.00	-.57
25	0.00	0.00	32.71	33.69	0.00	-.98
26	0.00	0.00	8.05	8.38	0.00	-.33
27	0.00	0.00	4.47	4.72	0.00	-.25
28	7.20	7.02	3.00	3.47	.18	-.47
29	5.31	5.12	0.00	.25	.19	-.25
30	2.60	2.48	0.00	.12	.12	-.12
31	6.26	6.03	1.14	1.32	.23	-.18
32	9.73	9.26	8.49	9.27	.47	-.78
33	4.89	4.68	5.59	5.97	.21	-.38
34	7.08	6.79	2.30	2.47	.29	-.17
35	9.04	9.72	24.37	26.16	-.68	-1.79
36	1.38	.84	21.82	23.09	.54	-1.27
37	7.99	7.50	18.41	19.16	.49	-.75
38	11.84	11.58	4.70	4.85	.26	-.15
39	29.20	28.50	22.10	23.14	.70	-1.04
40	1.60	1.50	7.78	8.05	.10	-.27
41	2.49	2.34	9.65	9.94	.15	-.29
42	3.52	3.40	6.00	6.17	.12	-.17
43	12.60	12.42	6.82	6.94	.18	-.12
44	2.20	2.16	1.10	1.13	.04	-.03
45	12.78	12.35	19.78	20.57	.43	-.79
46	4.81	4.65	8.82	9.28	.16	-.46
47	6.16	6.04	2.19	2.19	.12	0.00
48	7.51	7.36	13.29	13.38	.15	-.09
49	0.00	0.00	19.44	20.15	0.00	-.71
50	.20	.11	3.13	3.36	.09	-.23

GEGENÜBERSTELLUNG - MASSENBERECHNUNG

=====

PUNKT.-NR.	ABTRAG (MANUELL)	ABTRAG (RECHNER)	AUFTRAG (MANUELL)	AUFTRAG (RECHNER)	DIFF. ABTRAG (2)-(3)	DIFF. AUFTRAG (4)-(5)
1	2	3	4	5	6	7
51	9.81	9.32	1.86	2.15	.49	-.29
52	19.98	19.93	.93	.65	.05	.28
53	3.47	3.60	.89	.78	-.13	.11
54	13.54	13.90	16.92	16.69	-.36	.23
55	.17	.16	4.22	4.32	.01	-.10
56	.04	0.00	26.75	27.85	.04	-1.10
57	7.46	7.12	16.49	17.48	.34	-.99
58	32.69	31.59	1.73	2.03	1.10	-.30
59	8.66	13.16	.19	.29	-4.50	-.10
60	4.95	4.80	5.36	5.56	.15	-.20
61	1.71	1.66	21.75	22.47	.05	-.72
62	0.00	0.00	14.73	15.34	0.00	-.61
63	.08	0.00	9.65	10.02	.08	-.37
64	5.39	4.86	11.78	12.32	.53	-.54
65	15.52	15.61	0.00	.12	-.09	-.12
66	5.34	5.62	0.00	0.00	-.28	0.00
67	8.59	8.96	0.00	0.00	-.37	0.00
68	2.56	2.65	1.00	.91	-.09	.09
69	0.00	0.00	2.42	2.25	0.00	.17
70	0.00	0.00	13.93	13.47	0.00	.46
71	0.00	0.00	20.93	20.50	0.00	.43
72	0.00	0.00	6.76	6.57	0.00	.19
73	.03	.10	9.13	8.75	-.07	.38
74	2.23	2.51	2.69	2.47	-.28	.22
75	6.11	6.55	0.00	0.00	-.44	0.00
76	15.17	16.29	0.00	0.00	-1.12	0.00
77	17.99	19.09	0.00	0.00	-1.10	0.00
78	7.50	7.86	.33	.17	-.36	.16
79	8.05	8.45	1.47	2.69	-.40	-1.22
80	9.77	10.14	6.71	6.37	-.37	.34
81	4.25	4.38	1.52	1.42	-.13	.10
82	32.49	32.33	5.03	5.03	.16	0.00
83	35.30	34.69	3.60	3.97	.61	-.37
84	17.75	17.55	20.67	20.67	.20	0.00
85	0.00	0.00	63.12	62.01	0.00	1.11
86	5.30	5.55	52.20	51.02	-.25	1.18
87	9.05	9.65	15.67	14.89	-.60	.79
88	6.94	7.07	4.90	4.65	-.13	.25
89	17.72	17.31	5.99	6.26	.41	-.27
90	6.94	6.64	1.86	2.09	.30	-.23
91	6.42	6.01	3.37	3.83	.41	-.46
92	20.04	18.77	6.60	7.25	1.27	-.65
93	6.61	5.80	.21	.30	.81	-.09
94	6.23	5.75	7.08	7.66	.48	-.58
95	6.42	6.05	8.44	9.01	.37	-.57
96	4.96	4.79	1.23	1.38	.17	-.15
97	19.45	18.82	7.69	8.18	.63	-.49
98	4.46	4.28	12.99	13.23	.18	-.24
99	1.43	1.28	22.85	23.22	.15	-.37
100	4.93	4.66	34.16	34.85	.27	-.69

GEGENÜBERSTELLUNG - MASSENBERECHNUNG

=====

PUNKT.-NR.	ABTRAG (MANUELL)	ABTRAG (RECHNER)	AUFTRAG (MANUELL)	AUFTRAG (RECHNER)	DIFF.ABTRAG (2)-(3)	DIFF.AUFTRAG (4)-(5)
1	2	3	4	5	6	7
101	6.44	6.23	12.64	12.92	.21	-.28
102	11.87	11.53	19.61	20.13	.34	-.52
103	7.06	6.93	11.60	11.89	.13	-.29
104	31.85	31.30	12.00	12.35	.55	-.35
105	14.72	14.43	.43	.56	.29	-.13
106	35.95	35.23	11.55	12.17	.72	-.62
107	13.03	12.65	36.47	37.17	.38	-.70
108	3.95	3.85	13.75	14.02	.10	-.27
109	6.75	6.59	22.46	22.87	.16	-.41
110	13.83	13.51	29.09	29.74	.32	-.65
111	40.56	39.97	17.03	17.58	.59	-.55
112	26.69	26.34	11.76	12.06	.35	-.30
113	11.38	11.27	23.00	23.23	.11	-.23
114	8.40	8.20	17.15	17.40	.20	-.25
115	12.13	11.84	24.04	24.41	.29	-.37

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

DEPONIE 10.1 M³

STATIONS LÄNGE 182.71 M

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

DEPONIE 12.07 M³

STATIONS LÄNGE 189.17 M

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

DEPONIE 9.59 M³

STATIONS LÄNGE 196.46 M

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

DEPONIE 3.26 M³

STATIONS LÄNGE 201.265 M

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

SEITENENTNAHME 2.69 M³

STATIONS LANGE 381.595 M

=====

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

SEITENENTNAHME 7.59 M³

STATIONS LANGE 385.05 M

=====

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

SEITENENTNAHME 2.76 M³

STATIONS LANGE 388.77 M

=====

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSENAUSGLEICH

SEITENENTNAHME 3.84 M³

STATIONS-LÄNGE 341.03 M

=====

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSENAUSGLEICH

SEITENENTNAHME 11.66 M³

STATIONS-LÄNGE 349.91 M

=====

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

=====

SEITENENTNAHME 9.75 M³

STATIONS LANGE 447.75 M

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

SEITENENTNAHME 11.08 M³

STATIONS LÄNGE 552.95 M

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

SEITENENTNAHME 10.02 M³

STATIONS LÄNGE 557.95 M

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

SEITENENTNAHME 7.47 M³

STATIONS LÄNGE 565.925 M

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

=====

SEITENENTNAHME 4.66 M³

STATIONS LÄNGE 735 M

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

=====

SEITENENTNAHME 1.83 M³

STATIONS LÄNGE 745 M

=====

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

=====

SEITENENTNAHME 6.09 M³

STATIONS LÄNGE 854.265 M

=====

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

=====

SEITENENTNAHME 8.6 M³

STATIONS LÄNGE 864.265 M

=====

=====

INFORMATIONEN ZUM MASSEN AUSGLEICH

=====

SEITENENTNAHME 4.96 M³

STATIONS LÄNGE 873.165 M

=====

Lebenslauf

Name: Hubert Dürrstein
Geburtstag und -ort: 26. Juli 1955, Würzburg
Staatsangehörigkeit: deutsch
Konfession: r.-k.
Familienstand: verheiratet
Adresse: Breisacherstraße 9, 8000 München 80

Schulische Ausbildung:

1961 - 1965 Volksschule (Bodenwöhr, ab 1963 Oberkirchberg)
1965 - 1974 Gymnasium (Ulm, ab 1971 Regensburg)
1974 Abitur (Goethe-Gymnasium Regensburg)

Bundeswehr:

1974 - 1976 Regensburg

Universitäre Ausbildung:

1976 - 1980 Studium der Forstwissenschaft an der
Universität München
Abschluß Vordiplom 1979
Abschluß Hauptdiplom 1980

Berufliche Tätigkeit:

seit 1981 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl
für Forstliche Arbeitswissenschaft und Ver-
fahrenstechnik, Forstliche Fakultät der
Universität München

